

**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Centro Universitario del Suroccidente**  
**Ingeniería en Gestión Ambiental Local**  
**-EPSIGAL-**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TIPO ESPECIAL DE LA  
INDUSTRIA ALIMENTICIA SAN ANTONIO S.A, CHAMPERICO, RETALHULEU.**

Trabajo presentado a las autoridades del Centro Universitario de Suroccidente –  
CUNSUROC- de la Universidad de San Carlos de Guatemala –USAC-

Por:

**Fredes Adelina Villatoro Dardón**

**Carné: 201041687**

Previo a conferírsele el título que la acredita como:

Ingeniera en Gestión Ambiental Local

En el grado académico de Licenciado

Mazatenango, octubre 2016

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE**

**Autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala – Centro Universitario  
de Suroccidente -**

**Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo**

**Rector**

**Dr. Carlos Enrique Camey Rodas**

**Secretario General**

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL  
SUROCCIDENTE**

**MSc. Mirna Nineth Hernández Palma**

**Directora en Funciones**

**REPRESENTANTES DE PROFESORES**

**MSc. José Norberto Thomas Villatoro**

**Secretario en Funciones**

**REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC**

**Lic. Ángel Estuardo López Mejía**

**Vocal**

**REPRESENTANTES ESTUDIANTILES**

**TS. Elisa Raquel Martínez González**

**Vocal**

**Br. Irrael Esduardo Arriaza Jerez**

**Vocal**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - CENTRO UNIVERSITARIO DE  
SUROCCIDENTE -

**COORDINACIÓN ACADÉMICA**

**COORDINADOR ACADÉMICO**

MSc. Carlos Antonio Barrera Arenales

**COORDINADOR CARRERA LICENCIATURA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS**

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar

**COORDINADOR CARRERA DE LICENCIATURA EN TRABAJO SOCIAL**

Lic. Edin Aníbal Ortiz Lara

**COORDINADOR DE LAS CARRERAS DE PEDAGOGÍA**

MSc. Nery Edgar Saquimux Canastuj

**COORDINADOR CARRERA INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

PhD. Marco Antonio del Cid Flores

**COORDINADOR CARRERA INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL**

MSc. Jorge Rubén Sosof Vásquez

**COORDINADORA CARRERA LICENCIATURA EN CIENCIAS JURÍDICAS Y  
SOCIALES, ABOGADO Y NOTARIO**

Lcda. Tania María Cabrera Ovalle

**COORDINADOR CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

MSc. Celso González Morales

**CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA DEL CUNSUROC**

**COORDINADORA DE LAS CARRERAS DE PEDAGOGÍA**

Lcda. Tania Elvira Marroquín Vásquez

**COORDINADORA CARRERA PERIODISTA PROFESIONAL Y LICENCIATURA EN  
CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN**

MSc. Paola Marisol Rabanales



Mazatenango, Suchitepéquez, 12 de octubre 2016

Señores

Honorable Consejo Directivo

Centro Universitario de Suroccidente

Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetables Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de graduación titulado: "Evaluación del sistema de tratamiento de agua residual de tipo especial de la Industria Alimenticia San Antonio S.A."; trabajo presentado como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local en el grado académico de Licenciado, con la madrina licenciada en educación Elsa Adelina Villatoro Ochoa de Marroquín, por lo cual solicito me sea concedido fijar fecha de graduación para el día martes 8 de noviembre 2016 a las 16:00 hrs.

Esperando el trabajo de graduación merezca su aprobación, me suscribo de ustedes.

Atentamente

Fredes Adelina Villatoro Dardón

201041687

## Agradecimientos

---

*Gracias Señor por las alegrías y dificultades,  
porque tu mano siempre ha estado conmigo*

*Por mi madre, Kenly Dardón, que siempre  
que ha sido mi ejemplo de lucha  
contra las adversidades.*

*Por mi padre, Everardo Villatoro, que es  
un ejemplo constante de dedicación*

*A mis hermanos, hermana y cuñado,  
por su apoyo en cada etapa de este trayecto llamado vida.*

*A Andrés, porque es mi rayito de luz.*

*A mis amigos y compañeros,  
por los que estuvieron,  
los que están y los que estarán.*

*A mis profesores que me dieron  
el ejemplo de lo que  
puedo ser y lo que no quiero ser.*

***Dedicado a mis padres, porque sé que estarán conmigo***

***eternamente.***

***“El camino es largo, pero se alegra con cada árbol que da sombra”***

***(F. Villatoro)***

## Índice General

Resumen .....	viii
ABSTRACT .....	x
I.    Introducción .....	1
II.   Objetivos.....	3
2.1  General.....	3
2.2  Específicos .....	3
III.  Marco referencial .....	4
3.1  Ubicación de Industria Alimenticia San Antonio S.A. ....	4
3.2  Procesos de producción de plátano pre frito de Industria Alimenticia San Antonio S.A. ....	4
3.2.1  Proceso para la producción de tajada de plátano pre frito.....	5
3.2.1.1  Recepción y maduración .....	5
3.2.1.2  Lavado.....	5
3.2.1.3  Pelado y corte.....	6
3.2.1.4  Fritura .....	6
3.2.1.5  Bandejeado .....	6
3.2.1.6  Congelación.....	6
3.2.1.7  Empaque .....	6
3.2.1.8  Almacenamiento.....	7
3.3  Esquema del proceso de plátano pre frito .....	7
3.4  Aguas residuales generadas en la Industria Alimenticia San Antonio S.A.....	7
3.4.1    Sistemas de tratamiento.....	8
3.4.1.1    Agua residual tipo especial .....	8
3.4.1.2    Agua residual tipo ordinario.....	9
IV.   Marco teórico.....	10
4.1  El agua en el mundo .....	10
4.1.1    Importancia del agua.....	10
4.1.2    Definición de aguas residuales .....	11
4.1.3    Composición de las aguas residuales.....	11

4.1.4	Clasificación de aguas residuales .....	12
4.2	Planta de tratamiento .....	12
4.2.1	Tratamiento preliminar .....	13
4.2.1.1	Desbaste .....	13
4.2.1.2	Tamizado.....	13
4.2.1.3	Desarenado .....	14
4.2.1.4	Trampas de grasas o desengrasadores .....	14
4.2.1.5	Tanque de igualación .....	15
4.2.2	Tratamiento primario.....	15
4.2.2.1	Sedimentación .....	16
4.2.2.2	Flotación .....	17
4.2.2.3	Coagulación-floculación.....	17
4.2.2.4	Filtración .....	17
4.2.3	Tratamiento secundario .....	17
4.2.3.1	Lodos activados.....	18
4.2.3.2	Biodisco .....	19
4.2.3.3	Lagunaje.....	19
4.2.3.4	Filtro biológico .....	19
4.2.4	Tratamiento terciario.....	20
4.2.4.1	Tratamientos avanzados .....	20
4.2.4.1.1	Carbón activado .....	21
4.2.4.1.2	Microfiltración .....	21
4.2.4.1.3	Ósmosis inversa.....	21
4.2.5	Tratamiento de lodos.....	22
4.2.5.1	Estabilización de lodos .....	22
4.2.5.2	Espesamiento .....	23
4.2.5.3	Deshidratación.....	23
4.2.5.4	Incineración .....	23
4.3	Acuerdo gubernativo 236-2006.....	24
4.3.1	Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales .....	24



4.3.2 Características físicas.....	24
4.3.2.1 Temperatura .....	24
4.3.2.2 Color y turbiedad .....	25
4.3.2.3 Sólidos suspendidos.....	26
4.3.2.4 Sólidos sedimentables.....	26
4.3.2.4.1 Eliminación de sólidos sedimentables.....	26
4.3.2.5 Grasas y aceites.....	27
4.3.3 Características químicas y biológicas de las aguas residuales .....	27
4.3.3.1 Potencial de hidrógeno .....	27
4.3.3.2 Nitrógeno .....	28
4.3.3.3 Fósforo .....	29
4.3.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	30
4.3.3.5 Demanda química de oxígeno .....	30
4.3.3.6 Coliformes fecales .....	30
4.4 Carga contaminante .....	31
4.5 Laguna de Oxidación.....	31
4.6 Eficiencia .....	32
4.7 Manual de operaciones .....	33
4.8 Método estadístico aleatorio simple.....	34
4.9 Tipos de muestras de agua.....	34
4.10 Métodos para calcular volumen.....	35
V. Materiales y métodos.....	36
5.1 Cuantificación de la carga contaminante presente en el agua residual .....	36
5.1.1 Materiales .....	36
5.1.2 Métodos.....	37
5.1.2.1 Medición del caudal .....	37
5.1.3 Toma de muestra uno y dos .....	38
5.1.3.1 Materiales .....	38
5.1.3.2 Métodos.....	39
5.1.3.2.1 Toma de muestra uno .....	39

5.1.3.2.2 Toma de muestra dos .....	41
5.1.3.2.3 Análisis microbiológico para coliformes fecales .....	42
5.2 Evaluación de la carga contaminante del agua residual de tipo especial de INALSA S.A. para los parámetros fisicoquímicos .....	43
5.3 Medición de volumen de laguna de oxidación .....	44
5.3.1.1 Materiales.....	44
5.3.1.2 Métodos .....	44
5.4 Medición de la eficiencia de la laguna de oxidación .....	46
5.4.1 Métodos .....	46
5.5 Elaboración del manual de operaciones propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. ....	47
VI. Resultados y discusión .....	48
6.1 Carga contaminante .....	48
6.1.1 Datos obtenidos In Situ para determinar carga contaminante. ....	48
6.1.2 Carga contaminante del agua residual de entrada y salida del sistema para coliformes fecales. ....	49
6.1.3 Resultados de la carga contaminante para los parámetros fisicoquímicos .	51
6.2 Capacidad de la laguna de oxidación .....	55
6.2.1 Circunferencia.....	55
6.2.2 Profundidad .....	56
6.3 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial	56
6.4 Propuesta de manual de operaciones para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. ....	59
VII. Conclusiones .....	60
VIII. Recomendaciones .....	62
IX. Bibliografía.....	63
X. Anexos.....	67

## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Materiales para medición de caudal.....	36
Cuadro 2. Materiales utilizados para toma de muestra.....	38
Cuadro 3. Horarios de descarga de aguas residuales de tipo especial a la laguna de oxidación de INALSA S.A. ....	39
Cuadro 4. Toma de muestras simples para composición de muestra completa...	40
Cuadro 5. Materiales para medición de volumen de la laguna de oxidación.....	44
Cuadro 6. Tiempos de caudales de entrada y salida.....	48
Cuadro 7. Caudales estimados para el agua de entrada y salida.....	49
Cuadro 8. Resultados de análisis microbiológico.....	50
Cuadro 9. Temperatura promedio del agua residual de entrada.....	51
Cuadro 10. Temperatura promedio del agua residual de salida.....	51
Cuadro 11. Resultados de potencial de Hidrógeno de agua de entrada.....	52
Cuadro 12. Resultados de potencial de Hidrógeno de agua de salida.....	52
Cuadro 13. Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.....	53
Cuadro 14. Carga contaminante del agua residual.....	54
Cuadro 15. Tabla de medidas de circunferencia de la laguna de oxidación.....	55
Cuadro 16. Tabla de profundidades de laguna de oxidación.....	56
Cuadro 17. Eficiencia de laguna de oxidación para cada parámetro.....	57
Cuadro 18. Comparación de concentraciones de contaminantes.....	58

## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de Industria Alimenticia San Antonio S.A.....	4
Figura 2. Proceso de plátano pre frito.....	7
Figura 3. Desbaste.....	13
Figura 4. Tamizado.....	13
Figura 5. Trampas de grasa.....	14
Figura 6. Ecuación para carga contaminante.....	31
Figura 7. Ecuación para eficiencia.....	33
Figura 8. Ecuación para caudal.....	38
Figura 9. Sistema de riego de aguas residuales.....	41
Figura 10. Ecuación para tamaño de muestra.....	42
Figura 11. Ecuación para radio de circunferencia.....	45
Figura 12. Secciones para medición de profundidad.....	45
Figura 13. Ecuación para volumen.....	46
Figura 14. Temperatura de agua residual de INALSA S.A.....	84
Figura 15. Potencial de Hidrógeno.....	84
Figura 16. Grasas y aceites.....	85
Figura 17. Sólidos en suspensión.....	85
Figura 18. Nitrógeno total.....	86
Figura 19. Color.....	86
Figura 20. Sólidos sedimentables.....	87
Figura 21. DQO.....	87
Figura 22. DBO.....	88
Figura 23. Fósforo.....	88

## **Índice de Anexos**

Anexo 1. Propuesta de manual de operaciones de la planta de tratamiento de agua residual de tipo especial, INALSA S.A.....	67
Anexo 2. Diagrama de flujo de tratamiento de aguas residuales de tipo especial.....	83
Anexo 3. Gráficas de resultados.....	84
Anexo 4. Acuerdo Gubernativo 236-2006.....	89

## Resumen

La industria Alimenticia San Antonio S.A: (INALSA S.A.) es una empresa privada ubicada en la zona costera del país, específicamente en Champerico Retalhuleu, teniendo como actividad principal el procesamiento de tajadas<sup>1</sup> de plátano pre frito para exportación y venta local.

En este proceso se contempla desde la recepción del plátano verde, maduración, lavado, pelado y corte de fruta, fritura de las tajadas, congelamiento hasta su empaque; con lo cual también se generan subproductos como el agua residual de tipo especial<sup>2</sup> y ordinario<sup>3</sup>, lo que a su vez son tratados con diferentes procedimientos.

El agua de tipo ordinario es conducida hacia un proceso de filtrado y el agua especial se traslada hacia una planta de tratamiento de tres fases: preliminar, laguna de oxidación y reúso en campo de riego en el que se ha dispuesto vetiver, la cual cumple con la norma 236-2006 sin embargo se detectó presencia de olores desagradables los cuales no son permitidos para efecto de la normativa de calidad de la empresa.

Para la disminución de los olores, se ha aumentado la frecuencia de limpieza de las lagunas de oxidación, provocando aumento en los costos de mantenimiento. Para buscar una solución a este problema, se realizó una evaluación del sistema de tratamiento de agua residual especial, realizando análisis de laboratorio<sup>4</sup> para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, materia flotante, sólidos en suspensión, nitrógeno total, color, sólidos sedimentables, fósforo, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y coliformes fecales).

Esta evaluación se realizó a través de un muestreo de agua en la entrada de la laguna de oxidación y salida al campo de riego; obteniéndose una muestra compuesta para cada efluente<sup>5</sup>. Con el establecimiento de la carga contaminante aportada al agua residual y el porcentaje de eficiencia de la laguna de oxidación para cada parámetro establecido, se determinó que la planta actualmente es eficaz para los parámetros de materia flotante, sólidos en sedimentables y color; no así para la eliminación de los excedentes de grasas

<sup>1</sup> Tajadas de plátano pre frito: pequeños trozos de entre tres y cinco cm de grosor de plátano al que el consumidor final dará una última cocción (López, B. 2014).

<sup>2</sup> Agua residual de tipo especial: es agua generada durante el proceso productivo de plátano pre frito (Estudio técnico de aguas para reúso y lodos, 2010).

<sup>3</sup> Agua residual de tipo ordinario: referente a aguas residuales de uso doméstico (cocina) y aguas pluviales (Estudio técnico de aguas para reúso y lodos, 2010).

<sup>4</sup> Los análisis se realizaron en el laboratorio Soluciones Analíticas, certificado con la norma ISO/IEC 17025.

<sup>5</sup> Efluente: líquido residual que fluye de una instalación. (RAE, 2014)

y aceites, sólidos en suspensión totales, nitrógeno total y fósforo total; y con un porcentaje menor del 20% para DBO<sup>6</sup> y DQO<sup>7</sup>.

Los resultados anteriores permitieron determinar que la laguna de oxidación no cumple con el rendimiento esperado según su función teórica, por lo que es recomendable implementar procesos complementarios para el tratamiento de agua residual como trampas de grasa, impermeabilizar el suelo de la laguna, evaluar el tamaño de la laguna para considerar su ampliación e implementar el manual para el mantenimiento de la planta de tratamiento elaborado como producto de esta investigación.

<sup>6</sup> DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

<sup>7</sup> DQO: Demanda Química de Oxígeno

## ABSTRACT

San Antonio Food Industry S.A. (INALSA S.A.) is a private company located in the coastal area of the country, specifically in Champerico Retalhuleu, having as main activity processing tajadas<sup>1</sup> pre fried banana for export and local sales.

In this process viewed from the reception of green banana, ripening, washed, peeled and cut fruit, fry chops, freezing to packaging; whereby by-products such as waste water ordinario<sup>2</sup> and especial<sup>3</sup> type are also generated, which in turn they are treated with different methods.

Water ordinary type is conducted to a filtering process and the special water is transferred to a treatment plant three phases: preliminary oxidation pond and reuse in irrigation field in which is disposed vetiver, which meets 236-2006 standard however the presence of unpleasant odors which are not allowed to effect the quality standards of the company was detected.

For reducing odors, it has increased the frequency of cleaning oxidation ponds, causing increased maintenance costs. To find a solution to this problem, an evaluation of the treatment system of special wastewater was performed, performing analysis laboratorio<sup>4</sup> for chemical and microbiological parameters (temperature, hydrogen potential, fats and oils, floating matter, suspended solids, nitrogen full, color, settleable solids, phosphorus, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and fecal coliforms).

<sup>1</sup> pre fried banana Chops: small pieces of three to five cm thick banana to the final consumer given a final cooking (López, B. 2014).

<sup>2</sup> Wastewater ordinary type: concerning household wastewater (kitchen) and rainwater (Technical study of water for reuse and sludge, 2010).

<sup>3</sup> Residual water special type: is water generated during the production process of pre fried banana (Technical study of water for reuse and sludge, 2010).

<sup>4</sup> Analyses were performed in the laboratory analytical solutions certified with the ISO / IEC 17025.



This evaluation was conducted through sampling water at the entrance of the oxidation pond and irrigation field trip; obtaining a composite sample for each effluent<sup>5</sup>. With the establishment of the pollutant load contributed to the wastewater and the percentage of efficiency of the oxidation pond for each parameter set, it was determined that the plant is currently effective for the parameters of floating matter, settleable solids and color; not for the elimination of excess fats and oils, total suspended solids, total nitrogen and total phosphorus; and a lower percentage of 20% for DBO<sup>6</sup> and DQO<sup>7</sup>.

The above results allowed to determine that the oxidation pond does not meet the expected by theoretical function performance, so it is advisable to implement complementary processes for treating wastewater and grease traps, waterproof the floor of the lagoon, evaluate the size the lagoon to consider extending and implementing the manual for the maintenance of the treatment plant produced as a result of this investigation.

<sup>5</sup> Effluent: waste liquid flowing from a facility. (RAE, 2014)

<sup>6</sup> BOD: Biochemical Oxygen Demand

<sup>7</sup> COD: Chemical Oxygen Demand

## **I. Introducción**

La Industria Alimenticia San Antonio S.A. (INALSA S.A.) ubicada en el kilómetro 208.5 carretera a Champerico, Retalhuleu, es una empresa privada que se dedica al procesamiento de plátano pre frito para exportación; durante sus procesos de producción se realizan actividades que requieren del uso de agua, aceite, detergentes, madurantes, y productos de limpieza para asegurar la calidad e inocuidad de los alimentos. Toda esta agua residual llega al sistema de tratamiento de tipo especial de INALSA S.A. que consiste en tratamiento preliminar y una laguna de oxidación primaria en donde se depositan para ser bombeadas y regadas en el campo cultivado con vetiver, lo que constituye el destino final de ésta agua.

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó como base el Acuerdo Gubernativo 236-2006 Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos, el cual indica parámetros que deben seguirse para la disposición final de las aguas residuales.

Ésta investigación se realizó debido a que la laguna de oxidación despidió olores putrefactos que afectan a los empleados y a la imagen de la empresa; también ha generado costos no previstos ya que debe ser limpiada regularmente debido a natas de grasa que se forman en la superficie del agua, afectando la aspersión del agua al campo de riego.

Se realizaron cálculos de profundidad y capacidad de la laguna de oxidación, con el fin de determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de INALSA S.A.; se realizó una evaluación, por medio de análisis de laboratorio; para los parámetros de temperatura, potencial de Hidrógeno, grasas y aceites, materia flotante, sólidos en suspensión totales, Nitrógeno total, coliformes fecales, color, sólidos sedimentables, DBO, DQO y Fósforo.

Las muestras para los análisis, se tomaron de la entrada y salida de agua de la laguna de oxidación; se obtuvo una muestra compuesta que fue enviada al laboratorio, donde se realizaron los exámenes correspondientes; también se determinó el volumen de la laguna de oxidación para conocer la capacidad con la que ésta cuenta.

Al obtener los resultados de los análisis realizados, se determinó que la planta de tratamiento de Industria Alimenticia San Antonia S.A.-INALSA S.A- no tiene eficiencia para los parámetros de pH, grasas y aceites, Nitrógeno total, coliformes fecales y DBO; y para los parámetros de color, fósforo, sólidos en suspensión, sólidos sedimentables y DQO el porcentaje de eficiencia es bajo.

Como otro resultado de la investigación se elaboró un manual de operaciones para la planta de tratamiento de INALSA S.A. en el que se detalla un diagrama de flujo del agua desde que es desechada hasta su disposición final en el campo. Así también una tabla de registro de las actividades realizadas para el mantenimiento de la misma.

## **II. Objetivos**

### **2.1 General**

- Evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de la Industria Alimenticia San Antonio, S.A.

### **2.2 Específicos**

1. Cuantificar la carga contaminante para grasas y aceites, sólidos en suspensión, sólidos sedimentables, nitrógeno total, color, DQO, DBO, fósforo y coliformes fecales.
2. Calcular la capacidad de almacenamiento de la laguna de oxidación de Industria Alimenticia San Antonio S.A.
3. Medir la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial para cada parámetro indicado en el acuerdo gubernativo 236-2006, exceptuando metales pesados.
4. Elaborar un manual de operaciones para la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de Industria Alimenticia San Antonio S.A.

### III. Marco referencial

La Industria Alimenticia San Antonio S.A. ubicada en el kilómetro 208.5 carretera a Champerico, Retalhuleu, es una empresa dedicada al procesamiento de tajadas de plátano pre frito, para lo cual se ha hecho necesario implementar sistemas de limpieza y evacuación de desechos producidos por el trabajo en la planta.

#### 3.1 Ubicación de Industria Alimenticia San Antonio S.A.



**Figura 1. Localización de Industria Alimenticia San Antonio S.A.**

**Fuente: Google Earth 2015.**

#### 3.2 Procesos de producción de plátano pre frito de Industria Alimenticia San Antonio S.A.

Según López, (2014) este producto es elaborado a partir de trozos de plátano maduro, los cuales se someten a fritura, obteniéndose un producto blando y de color oscuro debido

a la caramelización del azúcar, el cual se congela después de la fase de fritura, y es el consumidor final quien le da el último proceso de cocción (fritura) o de calentamiento previo su consumo.

De acuerdo a López (2014), durante la fritura, el color y la textura de los productos se ve afectado por las condiciones del proceso, en especial por el tiempo, la temperatura y el tipo de aceite, así como por las características del producto, tamaño y variedad.

La grasa utilizada es de origen vegetal, con bajo punto de fusión, resistente al oscurecimiento, hidrólisis y oxidación, no forma espuma debido a la termo oxidación y tiene alto punto de humo. Es reutilizable (Mérida, I. 2015).

### **3.2.1 Proceso para la producción de tajada de plátano pre frito**

#### **3.2.1.1 Recepción y maduración**

De acuerdo a López, (2014) en esta operación debe separarse en canastas todo el producto que presente grados de maduración diferentes al establecido y que presente defectos que impidan su procesamiento tales como tamaño, rajado, gemelo, color y textura, además de tomar medidas de largo, diámetro, peso y grados Brix; luego de esto, proceden a maduración sumergiendo las canastas con plátano a una mezcla de agua y químico madurativo (Ethrel) en bomba de aspersión.

#### **3.2.1.2 Lavado**

El lavado se realiza con el fin de eliminar todo tipo de material extraño o contaminante, mediante la limpieza y desinfección, utilizando solución de amonio cuaternario a 400 partes por millón y haciéndola pasar por una máquina lavadora. (Mérida, 2015)

### **3.2.1.3 Pelado y corte**

Su objetivo es eliminar la cáscara y cortar el plátano maduro con determinadas características asignadas por el cliente en cuanto largo, ancho y grosor de tajada, utilizando para ello guantes y cuchillos previamente desinfectados. Posteriormente pasan de la banda a la máquina freidora para la pre fritura. (López, 2014)

### **3.2.1.4 Fritura**

Su objetivo es cocinar el interior de la tajada de plátano. En términos generales los trozos se sumergen en la grasa caliente por un tiempo determinado según el grado de cocción que se desee dar al producto. Es importante que el proceso de fritura se lleve a cabo de forma adecuada, debido a que si la temperatura es elevada puede haber deterioro de las grasas y tajada y si la misma es muy baja aumenta el tiempo de cocción y hay mayor absorción de grasa. (García, 2015)

### **3.2.1.5 Bandejeado**

Según Mérida (2015), esta área es designada para colocar las tajadas en bandejas y carretas metálicas para su posterior congelación.

### **3.2.1.6 Congelación**

El producto ya formado es congelado rápidamente para favorecer la formación de pequeños cristales de hielo y evitar el daño a la estructura física del producto y la liberación de agua en el proceso de fritura final (Mérida, 2015).

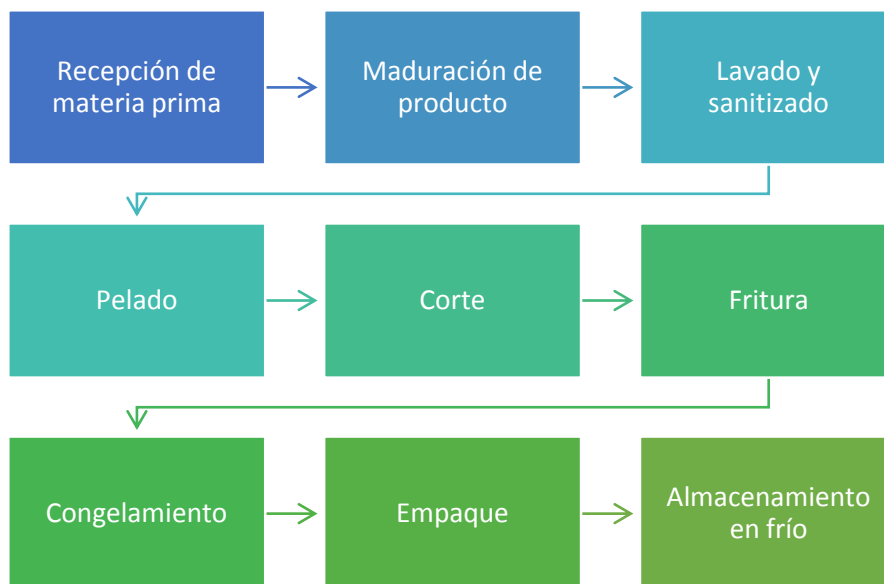
### **3.2.1.7 Empaque**

El producto ya congelado se coloca en bolsas plásticas de empaque al vacío; rotuladas con el logo de la empresa, ingredientes e indicaciones de preparación (García, 2015).

### 3.2.1.8 Almacenamiento

El producto ya empaçado se mantiene dentro de cuartos fríos, a una temperatura inferior a 18°C durante su almacenamiento y distribución con el fin de mantener la calidad (López, 2014).

### 3.3 Esquema del proceso de plátano pre frito



**Figura 2. Proceso de plátano pre frito**

**Fuente: López, 2014.**

### 3.4 Aguas residuales generadas en la Industria Alimenticia San Antonio S.A.

De acuerdo a García (2015), en el año 2010 se realizó una caracterización de efluentes según el acuerdo gubernativo 236-2006. En este estudio se comprobó que las aguas residuales industriales de la Procesadora San Antonio S.A., nombre con el que se le conocía legalmente en ese año, quedaba exenta de la realización anual de análisis fisicoquímicos del agua residual, por lo que únicamente debía cumplir con la determinación de carga contaminante para coliformes fecales por ser agua para reúso ya que, la empresa únicamente se dedicaba al pelado y empaquetado de camarón durante este año; el proceso de plátano pre frito se incorporó hasta el año 2014.



Durante el año 2010 se estableció un sistema de tratamiento para aguas de tipo especial, ordinario y pluvial; dichos sistemas fueron estructurados de la siguiente manera:

### **3.4.1 Sistemas de tratamiento**

Según el estudio técnico de aguas para reúso y lodos (2010), las aguas residuales generadas en la Industria Alimenticia San Antonio S.A. se dividen en dos tipos:

- **Aguas Residuales de tipo especial:** estas aguas son llamadas así debido a que son generadas en el proceso de producción de plátano pre frito.
- **Aguas Residuales de tipo ordinario:** generadas en las áreas externas a producción, entre ellas: aguas pluviales y sanitarias.

A continuación se describen las acciones que se toman para estas dos clasificaciones de agua residual.

#### **3.4.1.1 Agua residual tipo especial**

El agua residual de tipo especial de INALSA S.A. cuenta con un drenaje separado al del pluvial y ordinario con conducción del efluente hacia el sistema de tratamiento biológico anaeróbico por medio de separadores de sólidos y una laguna facultativa, para luego disponer del efluente tratado para riego por aspersión en el área verde de las instalaciones; las medidas aplicadas para mantener este sistema en óptimas condiciones son las siguientes:

Se mantiene una política de economía en el uso de agua principalmente:

- Los chorros o dispersores de agua permanecen cerrados cuando no es necesario el uso de agua.
- Se vela por evitar fugas o descargas de agua en el drenaje de forma innecesaria, mediante constantes chequeos a la tubería.
- Los insumos de limpieza se utilizan de forma moderada de acuerdo a las áreas de trabajo.

- Únicamente se utilizan insumos grado alimenticio, libres de metales pesados.
- No se introducen al drenaje sustancias químicas o peligrosas.
- Cada término de temporada se realiza la limpieza de la laguna, extrayendo el agua y posibles residuos para evitar la proliferación de vectores. Todo residuo sólido generado por la limpieza de la laguna es dispuesto de forma sanitaria y conforme lo establece el reglamento, siendo vertido en un área estipulada por la municipalidad.

#### **3.4.1.2 Agua residual tipo ordinario**

Las aguas residuales de tipo ordinario cuentan con un drenaje especial separado al de tipo especial, con dirección hacia un quinel ubicado en el área sur de las instalaciones donde no recibe ningún tipo de tratamiento. Las medidas aplicables para mantener en óptimas condiciones este sistema son las siguientes:

- Se evitan drenajes cruzados o mezcla con otros drenajes.
- Se utilizan limpiadores de baño y detergentes de ropa comerciales con moderación.
- Se antienen récords de reparaciones, bombeos, inspecciones, permisos emitidos y otras actividades del mantenimiento del sistema.
- No se depositan hilo dental, productos higiénicos femeninos, condones, pañales, hisopos, colillas de cigarro, granos de café molidos, arena, toallas de papel, pintura de látex, pesticidas, u otras sustancias químicas peligrosas en el drenaje doméstico.
- No se utilizan destapadores de drenajes cáusticos, en su lugar; se usa agua hirviendo o un tubo flexible para destapar tuberías.

El estudio técnico de aguas residuales realizado en 2010, determinó un programa específico que muestra la forma gradual en la que se sustituye o mejora la condición de accesorios y equipos que constituyan parte importante del proceso productivo o actividad principal del ente generador y que guardan estrecha relación con el reúso de aguas residuales y con la disposición de lodos.

## **IV. Marco teórico**

### **4.1 El agua en el mundo**

Según Hill (2000) el agua es el nombre común de un compuesto formado por dos átomos de Hidrógeno y un átomo de oxígeno, cuya fórmula es  $H_2O$ . Los antiguos filósofos consideraban el agua como un elemento básico que representaba a todas las sustancias líquidas. Los científicos no descartaron esta idea hasta la última mitad del siglo XVIII. En 1781 el químico británico Henry Cavendish sintetizó agua detonando una mezcla de hidrógeno y aire. Sin embargo, los resultados de este experimento no fueron interpretados claramente hasta dos años más tarde, cuando el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto de oxígeno e hidrógeno. En un documento científico presentado en 1804, el químico francés Louis Gay-Lussac y el naturalista Alexander Von Humboldt demostraron conjuntamente que el agua consistía en dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno, tal como se expresa en su fórmula actual  $H_2O$ .

#### **4.1.1 Importancia del agua**

La tierra es un planeta lleno de agua, el 71% de su superficie está cubierta por mares y océanos. Las personas que viven en este planeta también contienen mucha agua en su organismo. (Monroe J; Wicander R; Pozo M; 2008)

La presencia de grandes cantidades de agua hace que el planeta sea único en el sistema solar, tal vez el único capaz de mantener formas superiores de vida. La naturaleza del agua la hace indispensable para la vida y la naturaleza de la vida hace que dependa del agua. Si alguna vez se descubriera vida fuera del sistema solar, probablemente será en otro planeta húmedo similar a la tierra. Por otra parte, las mismas propiedades del agua que le permiten mantener la vida también hacen que sea muy fácil contaminarla. Muchas sustancias químicas son solubles en agua: se dispersan en ella fácilmente y se diluyen

casi hasta el infinito en los océanos. No es fácil eliminar esas sustancias de los suministros de agua, una vez que han llegado ahí. (Hill J, 2000)

#### **4.1.2 Definición de aguas residuales**

Se denomina aguas residuales a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial del agua. Se les llama también aguas servidas, aguas negras o aguas de cloacas. Son residuales pues, luego de haber sido usada el agua, constituyen un residuo, algo que no sirve para el usuario directo; son negras por el color que habitualmente tienen (Hill J, 2000).

De acuerdo a Hill, J. (2000) algunos autores hacen una diferencia entre aguas servidas y aguas residuales en el sentido que las primeras sólo provienen del uso doméstico y las segundas corresponden a la mezcla de aguas domésticas e industriales. En todo caso, están constituidas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado e incluyen, a veces, las aguas de lluvia y las infiltraciones de agua del terreno.

El agua contaminada determina la aparición de innumerables enfermedades que afectan a muchas personas en el mundo. La gran dependencia que se tiene del agua y la frecuencia con la que se utiliza hacen que sea el medio ideal para transmitirse de una persona a otra. Se ha comprobado que en los países menos desarrollados, más del 80% de las enfermedades tienen su origen en la carencia de agua o en las condiciones insalubres de la misma (Hill J, 2000).

#### **4.1.3 Composición de las aguas residuales**

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua en su estado conocido como de agua potable y de, un 0.1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0.1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de éstos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido. Cuando los contaminantes domésticos y similares se descargan en el agua, se produce una sucesión de cambios en la calidad de la misma. Si los contaminantes se vacían a un lago en el que las corrientes próximas a la descarga sean lentas y cambien de dirección con el viento, los cambios ocurren en forma paulatina, su localización se desplaza

esporádicamente y por tanto hay mucha sobre posición. (Delgadillo O; Camacho A; L. Andrade; 2010)

#### **4.1.4 Clasificación de aguas residuales**

De acuerdo a Agua y Saneamiento (2012), el agua residual se clasifica de acuerdo a su origen, entre estos:

1. Agua residual doméstica: referente a agua residual producida por actividades humanas relacionadas a actividades domésticas, lavado de platos, ropa, duchas, servicio sanitario y similares. La calidad es de acuerdo al nivel social de cada área.
2. Agua residual industrial: estas son aguas que han sido utilizadas en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes; su calidad varía de acuerdo al tipo de empresa y se requiere un estudio particular para cada industria.
3. Agua residual urbana: este tipo de agua residual es una mezcla de aguas residuales domésticas y escorrentía pluvial. Estas son recogidas mediante un sistema recolector y son enviada a una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR).

#### **4.2 Planta de tratamiento**

Las plantas de tratamiento para agua residuales tienen como objetivo minimizar la carga contaminante presente en el agua; esta disminución de concentraciones se realiza al direccionar el líquido por 4 tratamientos específicos (Campos, I; 2003)

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

De acuerdo a Campos, I. (2003) se le debe dar tratamiento a los residuos de estos procesos, tales como el tratamiento de lodos. Al finalizar estos procesos, se cuenta con un agua con concentraciones de contaminantes adecuados o nulos; de acuerdo a los estándares de cada ente generador de aguas residuales.

### 4.2.1 Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar se realiza con el fin de eliminar sólidos de gran tamaño que puedan dañar la estructura de la planta de tratamiento. Según asesores de Analiza Calidad (2008) las actividades principales del tratamiento preliminar son:

#### 4.2.1.1 Desbaste

De acuerdo a Lothar Hess (1998) los objetivos de este tratamiento son:

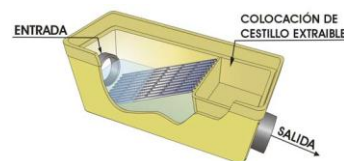
- Proteger a la E.D.A.R. (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación.
- Separar y evacuar fácilmente los materiales voluminosos arrastrados por el agua, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos posteriores.

Se utilizan para separar objetos de tamaño más importante que el de simples partículas que son arrastrados por la corriente de agua. Se utilizan solamente en desbastes previos. Se construyen con barras metálicas dispuestas paralelamente para evitar el paso de sólidos. Se limpian mediante rastrillos que pueden ser manejados manualmente o automáticamente.



**Figura 3. Desbaste**

**Fuente: Lothar Hess (1998)**



**Figura 4. Tamizado**

**Fuente: Lothar Hess,(1998)**

#### 4.2.1.2 Tamizado

Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. (Lothar Hess, M; 1998)

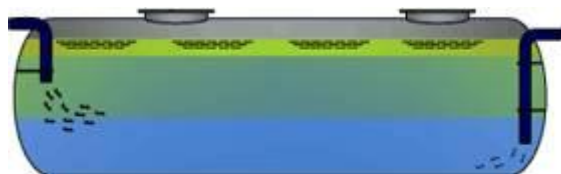
#### 4.2.1.3 Desarenado

De acuerdo a Depuración Industrial, Cyclus (2002), el objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

En caso de que sea necesario un bombeo, desbaste y desarenado deben ir antes de éste. Es conveniente situar el bombeo previo al desarenado aún a costa de un mayor mantenimiento de las bombas. Esto ocurre cuando los colectores de llegada están situados a mucha profundidad, cuando el nivel freático está alto, etc. (Depuración Industrial, Cyclus 2002).

#### 4.2.1.4 Trampas de grasas o desengrasadores

Las trampas de grasa son pequeños tanques de flotación natural, en donde los aceites y las grasas, con una densidad inferior a la del agua, se mantienen en la superficie del tanque para ser fácilmente retenidos y retirados (Depuración Industrial, Cyclus; 2002).



**Figura 5. Trampas de grasa**

**Fuente: Depuración Industrial, cyclus 2002**

Según Lothar, (1998) los desengrasadores se utilizan únicamente cuando hay desechos industriales conteniendo grandes cantidades de aceites y grasas; y previo al lanzamiento submarino de aguas residuales. Los desengrasadores deben propiciar una permanencia tranquila del agua residual durante el tiempo suficiente a manera que una partícula va a ser removida pueda recorrer la trayectoria entre el fondo y la superficie.

Las trampas de grasa deben ubicarse lo más cerca posible de la fuente de generación de estas sustancias (generalmente, corresponde al lavaplatos o similar) y antes del tanque séptico o sedimentador primario. Esta ubicación evitará obstrucciones en las tuberías de drenaje y generación de malos olores por adherencias en los tubos o accesorios de la red. Nunca deben conectarse aguas sanitarias a las trampas de grasas (Lothar, H; 1998).

Según el acuerdo gubernativo 236-2006 el límite máximo permisible de aceites y grasas presentes en el agua debe ser de 10 mg/l para el año 2015.

#### **4.2.1.5 Tanque de igualación**

De acuerdo a Depuradora Industrial, Cyclus (2002) estos tanques sirven para regular o disminuir los efectos de la variación del flujo o de la concentración de las aguas residuales.

Un tanque de igualación es un depósito de cualquier forma con capacidad suficiente para contener el flujo de agua que sobrepasa un valor determinado. Estos deben contar con aireación mezclado adecuado para evitar mal olor y asentamiento de sólidos. El tamaño resulta del balance entre el flujo que llega a la planta y el flujo promedio que la planta puede tratar (Depuradora Industrial, Cyclus; 2002).

#### **4.2.2 Tratamiento primario**

Los tratamientos primarios son aquellos que eliminan los sólidos en suspensión presentes en el agua residual. Los principales procesos físico-químicos que pueden ser incluidos en el tratamiento primario son los siguientes: sedimentación, flotación, coagulación – floculación y filtración. (Depuración Industrial, Cyclus; 2002).

De acuerdo a Depuración Industrial, Cyclus (2002), principalmente se pretende la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual. Dentro de estos sólidos pueden distinguirse:



- Los sólidos sedimentables: son los que quedan al dejar el agua residual en condiciones de reposo durante una hora.
- Los sólidos flotantes: definibles por contraposición a los sedimentables.
- Los sólidos coloidales (tamaño entre 10-3-10 micras).

Como en general, parte de los sólidos están constituidos por materia orgánica, consecuencia del tratamiento primario, suele ser la reducción de la DBO. El grado de reducción de éstos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características del agua residual.

#### **4.2.2.1 Sedimentación**

Es un proceso físico de separación por gravedad que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Está en función de la densidad del líquido, del tamaño, del peso específico y de la morfología de las partículas. Ésta operación será más eficaz cuanto mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir, cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación, siendo el principal parámetro de diseño para estos equipos. A esta operación de sedimentación se le suele denominar también decantación. (Depuración Industrial, Cyclus; 2002)

Según el grupo de consulta en línea Depuradora Industrial, Cyclus (2002), el objetivo fundamental de la sedimentación primaria es eliminar los sólidos en suspensión presentes en el agua y la materia orgánica para que de esta manera sean preservados los procesos de oxidación biológica. La forma de los equipos donde se lleva a cabo la sedimentación es variable, en función de las características de las partículas a sedimentar (tamaño, forma, concentración, densidad, etc.).

Las partículas depositadas en el fondo de los equipos (denominados fangos) se arrastran mediante rasquetas desde el fondo donde se “empujan” hacia la salida. Estos fangos, en muchas ocasiones y en la misma planta de tratamiento, se someten a distintas

operaciones para reducir su volumen y darles un destino final (Depuradora Industrial, Cyclus, 2002).

#### **4.2.2.2 Flotación**

Proceso físico fundamentado en la diferencia de densidades. La flotación permite separar la materia sólida o líquida de menor densidad que la del fluido, por ascenso de ésta hasta la superficie del fluido, ya que en este caso, las fuerzas que tiran hacia arriba (rozamiento y empuje del líquido) superan a la fuerza de la gravedad. Se generan pequeñas burbujas de gas (aire), que se asociarán a las partículas presentes en el agua y serán elevadas hasta la superficie, donde son arrastradas y sacadas del sistema. En el tratamiento de aguas se utiliza aire como agente de flotación, y en función de cómo se introduzca en el líquido (Delgadillo, O; Et al. 2010)

#### **4.2.2.3 Coagulación-floculación**

De acuerdo a Delgadillo (2010), este proceso consiste en agrupar los residuos sólidos presentes en el agua, esto por medio de compuestos químicos que aceleran este proceso, como el sulfato de aluminio. Esto se realiza con el fin de promover la sedimentación en un menor tiempo para su tratamiento.

#### **4.2.2.4 Filtración**

La filtración es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. El medio poroso tradicionalmente utilizado es un lecho de arena, de altura variable (Depuradora Industrial, Cyclus; 2002).

### **4.2.3 Tratamiento secundario**

El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables (Analiza calidad; 2008).

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los sólidos, aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas (Analiza Calidad; 2008).

De acuerdo a Analiza Calidad (2008), además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc., que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos, microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto.

Para llevar a efecto el proceso anterior, según Analiza Calidad (2008), se usan varios mecanismos tales como: lodos activados, biodisco, lagunaje, filtro biológico.

#### **4.2.3.1 Lodos activados**

De acuerdo a Water Treatment Solutions, Lenntech (2014), este es un tratamiento de tipo biológico en el cual una mezcla de agua residual y lodos biológicos es agitada y aireada. Los lodos biológicos producidos son separados y un porcentaje de ellos devueltos al tanque de aireación en la cantidad que sea necesaria. En este sistema, las bacterias utilizan el oxígeno suministrado artificialmente para desdoblar los compuestos orgánicos que a su vez son utilizados para su crecimiento.

A medida que los microorganismos van creciendo se aglutinan formando los lodos activados; éstos más el agua residual fluyen a un tanque de sedimentación secundaria en donde sedimentan los lodos. Los efluentes del sedimentador pueden ser descargados a una corriente receptora; parte de los lodos son devueltos al tanque con el fin de mantener una alta población bacteriana para permitir una oxidación rápida de la materia orgánica (Water treatment solutions, Lenntech, 2014).

#### **4.2.3.2 Biodisco**

Es tan eficaz como los lodos activados, requiere un espacio mucho menor, es fácil de operar y tiene un consumo energético inferior. Está formado por una estructura plástica de diseño especial, dispuesto alrededor de un eje horizontal. Según la aplicación puede estar sumergido de un 40 a un 90% en el agua a tratar, sobre el material plástico se desarrolla una película de microorganismos, cuyo espesor se autorregula por el rozamiento con el agua, en la parte menos sumergida, el contacto periódico con el aire exterior es suficiente para aportar el oxígeno necesario para la actividad celular (Henry, J; Et al; 1999).

#### **4.2.3.3 Lagunaje**

El sistema de lagunaje es entendido como la disposición de las aguas servidas en depresiones naturales, o construidas con el fin de depurar las aguas servidas. El tratamiento se puede realizar en grandes lagunas con largos tiempos de retención que les hace prácticamente insensibles a las variaciones de carga, pero que requieren terrenos muy extensos. La agitación debe ser suficiente para mantener los lodos en suspensión excepto en la zona más inmediata a la salida del efluente (Henry, J; Et al; 1999).

#### **4.2.3.4 Filtro biológico**

De acuerdo a Analiza Calidad (2008) el filtro biológico está formado por un reactor, en el cual se ha situado un material de relleno sobre el cual crece una película de

microorganismos aeróbicos con aspecto de limos. El agua residual se descarga en la parte superior mediante un distribuidor rotativo cuando se trata de un tanque circular.

#### **4.2.4 Tratamiento terciario**

De acuerdo a Depuradora Industrial, Cyclus (2002), la finalidad de los tratamientos terciarios es eliminar la carga orgánica residual y aquellas otras sustancias contaminantes no eliminadas en los tratamientos secundarios, como por ejemplo: los nutrientes, fósforo y nitrógeno.

El Nitrógeno y el Fósforo, aunados al bióxido de carbono y al agua, causan la eutrofización, o sea el crecimiento descontrolado de lirio, algas y otras plantas acuáticas que exterminan otros seres vivos que conviven en el acuífero, y que inicialmente se encuentran en equilibrio ecológico. Como prácticamente todas las aguas residuales sobrepasan los niveles de nitrógeno y fósforo, la integración de las aguas residuales con tratamiento secundario a un acuífero de este tipo, causarán la eutrofización del mismo, con la consecuente extinción de otras especies a las cuales no les favorece el exceso de nutrientes. Un tratamiento terciario implica además de la disminución de la DBO a niveles tolerables, la disminución del contenido de fósforo y nitrógeno, para evitar este problema. Si las aguas residuales tratadas se emplean en riego o en industrias, no es necesario un tratamiento terciario. Si las aguas tratadas se vierten sobre cuerpos receptores donde potencialmente existe el problema de eutrofización, el tratamiento terciario es recomendable y necesario (Analiza calidad, 2008).

##### **4.2.4.1 Tratamientos avanzados**

De acuerdo al Instituto Nacional Ecológico (2007), este tipo de proceso implica un tratamiento terciario y posteriormente una serie de tratamientos que tienen como finalidad el elevar la calidad del agua hasta alcanzar y a veces sobrepasar las normas de calidad de aguas potables. Las aguas con tratamiento terciario contienen un residual de DBO que es necesario disminuir a un valor de cero. También, los procesos de tratamiento que

se dan al agua tienen como finalidad el remover las trazas de metales tóxicos y de sustancias orgánicas que el agua pueda contener. No existe un diagrama único para un proceso de tratamiento avanzado en un agua en particular, pero los procesos que se emplean frecuentemente son:

#### **4.2.4.1.1 Carbón activado**

El carbón activado es carbón poroso que atrapa compuestos orgánicos presentes en un líquido; es sumamente efectivo, por lo que es el purificante más utilizado. Es utilizado para la remoción por adsorción de compuestos orgánicos difíciles de eliminar en el agua residual. Su gran capacidad adsorbente de compuestos tóxicos lo hace indispensable en el tratamiento y acondicionamiento del agua potable (Henry, J. G; Leinke, G.; 1999).

#### **4.2.4.1.2 Microfiltración**

Este tratamiento tiene como finalidad eliminar las partículas más pequeñas presentes en el agua. Es decir se utiliza para la remoción de sólidos residuales de tamaño muy fino, o en el rango de partículas coloidales, que al causar turbidez disminuyen la calidad del agua (Henry, J. G; Leinke, G.; 1999).

#### **4.2.4.1.3 Ósmosis inversa**

La ósmosis es un fenómeno físico-químico de difusión pasiva que implica un movimiento neto de agua a través de una membrana selectivamente permeable que limita dos compartimentos, es provocado por la diferencia de concentración de una solución acuosa entre ambos compartimentos (Quiminet, 2014).

De acuerdo a Quiminet (2014), el proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, la materia coloidal, virus y bacterias del agua. El proceso se llama ósmosis inversa cuando se requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana provocando que las impurezas salgan detrás. La ósmosis inversa es capaz de quitar 95%-99% de los sólidos disueltos totales y el 99% de todas las bacterias, de esta manera se proporciona agua segura.

#### **4.2.5 Tratamiento de lodos**

De acuerdo a Water treatment solutions, Lenntech, (2014), los lodos obtenidos del tratamiento de aguas residuales son el resultado de la sedimentación de partículas presentes en el agua, las cuales fueron sedimentadas durante el tratamiento primario y secundario. Al igual que los tratamientos mencionados anteriormente, el tratamiento de lodos tiene como objetivo las siguientes especificaciones:

- Estabilización para conseguir una degradación controlada de sustancias orgánicas y eliminación del olor.
- Reducción del volumen y el peso
- Higiene - muerte de organismos patogénicos
- Mejora de las propiedades del lodo de las plantas de tratamiento para su utilización posterior o disposición final.

La consistencia de los lodos y su apariencia puede cambiar durante el tratamiento. Debe de notar que también los valores de temperatura de los lodos cambian dependiendo del tipo de tratamiento. Los lodos tratados de forma anaeróbica tienen un valor más bajo de temperatura que el lodo crudo debido a la producción de gas residual. Esto se ha de tener en cuenta al valorar la disposición termal de los lodos. El tratamiento de lodos según Water treatment solutions, Lenntech (2014) incluye los siguientes procesos:

##### **4.2.5.1 Estabilización de lodos**

De acuerdo a Water treatment solutions, Lenntech (2014), estabilización aeróbica se puede realizar simultáneamente en plantas de lodos activos donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo. En la digestión aeróbica los microorganismos están en fase respiratoria donde los materiales contenidos en las células son oxidados, teniendo como resultado una reducción de la materia orgánica degradada biológicamente. De esta manera, la estabilización aeróbica del exceso de lodo (incluyendo lodos primarios) genera un consumo de energía.

#### **4.2.5.2 Espesamiento**

El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente (Water treatment solutions, Lenntech, 2014).

#### **4.2.5.3 Deshidratación**

La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante camas secas, secado solar), durante un largo periodo de tiempo. Más rápidamente, aunque en más pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso como las prensas (filtros de prensa) y centrifugación. En el proceso de deshidratación es importante la consideración de las condiciones limitantes como: cantidad, estructura del lodo, disposición, regulaciones, disponibilidad, personal, etc. (Water treatment solutions, Lenntech, 2014).

#### **4.2.5.4 Incineración**

Según, Lothar, M. (1998), la incineración se da por dos finalidades:

- Reducción de volumen
- Esterilización de sólidos.

De acuerdo a Lothar, M. (1998), para realizar la incineración de lodos se deben tener presentes los siguientes parámetros:

- Humedad
- Material volátil
- Materia inerte
- Poder calorífico

El proceso de incineración según Lothar, M. (1998), comprende dos fases: 1) secado y 2) combustión. Además de combustible y aire, tienen influencia el tiempo, la temperatura y la turbulencia para que haya una reacción completa.



Casi todos los incineradores son diseñados para trabajar con una cuarta parte de lodos y tres cuartas partes de agua, valiéndose así de la evaporación del líquido como el calor de combustión (Lothar, M. 1998).

### **4.3 Acuerdo gubernativo 236-2006**

El acuerdo gubernativo 236-2006 es el reglamento de descargas y reúso de aguas residuales y la disposición de lodos para entes generadores en Guatemala.

Este acuerdo fue creado el 15 de mayo de 2006 durante la presidencia de Oscar Berger; tiene por objeto establecer los criterios y requisitos que deben cumplir las entidades para la descarga, reúso de aguas residuales y disposición de lodos generados por las mismas (ver anexo 5).

#### **4.3.1 Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales**

El acuerdo 236-2006, establece los parámetros que se deben analizar para determinar la calidad del agua residual vertida a un afluente o al suelo; estos parámetros pueden variar según el tipo de empresa, el lugar al que descargue o el reúso de las aguas residuales.

Según este acuerdo se tomaron como referencia los siguientes parámetros aplicables al agua residual de INALSA S.A.

#### **4.3.2 Características físicas**

Las características físicas correspondientes al agua residual son: temperatura, contenido de sólidos, grasas y aceites y color.

##### **4.3.2.1 Temperatura**

Según el acuerdo gubernativo 236-2006 para reúso de aguas residuales y disposición de lodos la temperatura del agua residual debe estar +/- 7 grados Celsius en relación a la temperatura ambiente.

La temperatura del agua residual depende del uso al que se haya sometido esta; de los procesos biológicos que se desarrollen en ella y a la temperatura ambiente en que se encuentre el sistema de tratamiento de aguas.

#### **4.3.2.2 Color y turbiedad**

Según Campos (2013), el color puede producirse en el agua residual por dos causas:

- *Causas internas*, son causadas por materiales en suspensión o colorantes.
- *Causas externas*, causadas por la capacidad que tiene el agua de absorber ciertas radiaciones del espectro visible.

El color puede dividirse en color aparente, que es el producido por la materia suspendida y disuelta; y el color verdadero, que es el color que queda en el agua residual una vez eliminados los sólidos en suspensión, siendo este último el que se mide en esta determinación (Campos, I; 2013).

Los colores que presenta el agua pueden indicar que sustancias contaminantes hay en el agua, como por ejemplo:

- Hierro o algunos materiales oxidados, pueden tener color de rojizo a pardo.
- Manganeseo, puede tener color negro.

El agua residual urbana normalmente es de color amarillo-grisáceo, que se puede transformar en negro, lo cual quiere decir que pasa a condiciones sépticas. Un grado de color que supere las 50 unidades de color, puede limitar el proceso de fotosíntesis y al reducir el oxígeno disuelto, puede alterar el equilibrio de la flora y fauna existentes (Campos, I. 2013).

El acuerdo gubernativo 236-2006 indica que el color del agua residual debe ser de 1000 Unidades Platino Cobalto.

#### **4.3.2.3 Sólidos suspendidos**

De acuerdo a Henry y Leinke (1999), los sólidos suspendidos son partículas orgánicas e inorgánicas y líquidos inmiscibles que se encuentran en el agua. Dentro de las partículas orgánicas se pueden mencionar: fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos biológicos. La arcilla y sales son considerados elementos inorgánicos.

Algunos de los efectos de sólidos suspendidos en el agua son:

- Desagradables a la vista.
- Proveen superficies de adsorción química y biológica.
- Pueden degradarse, lo que causaría productos secundarios perjudiciales.
- Los elementos biológicamente activos pueden ser tóxicos y causar enfermedades.

El acuerdo gubernativo 236-2006 determina que debe haber un máximo de 400ml/lit de sólidos suspendidos en el agua residual.

#### **4.3.2.4 Sólidos sedimentables**

Se consideran sólidos sedimentables a todos aquellos sólidos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (conos Imhoff) durante un tiempo de 60 minutos (Henry, J.G; Leinke, G.W; 1999).

En el tratamiento de agua residual este parámetro se utiliza para conocer el volumen y la densidad que se obtendrán en la sedimentación primaria.

##### **4.3.2.4.1 Eliminación de sólidos sedimentables**

De acuerdo a Henry, J. G y Leinke, G. (1999) estos sólidos son eliminados durante la sedimentación primaria en un 65% y en la secundaria un 35%, este tratamiento consiste en dejar reposar el agua durante un tiempo determinado, en las lagunas provistas para este proceso.

#### 4.3.2.5 Grasas y aceites

Según Campos (2003), algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido.

Las grasas y aceites son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica (lípidos), que al ser inmiscibles con el agua, permanecen en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual (Henry, J.G; Leinke, G.W; 1999).

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (Campos, I; 2003).

### 4.3.3 Características químicas y biológicas de las aguas residuales

#### 4.3.3.1 Potencial de hidrógeno

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio [H<sub>3</sub>O]<sup>+</sup> presentes en determinadas disoluciones (Quiminet, 2014).

De acuerdo a Procalidad Ambiental (2013), los compuestos de las aguas residuales que pueden variar el pH de origen natural, pueden ser:

- Los *carbonatos y bicarbonatos*, como consecuencia de la disolución de materiales calizos, que dan valores de pH básicos o el CO<sub>2</sub>, como consecuencia de la disolución de la atmósfera, que dan valores de pH ácidos.

En cambio los compuestos de las aguas residuales que pueden variar el pH de origen artificial, pueden ser (Procalidad Ambiental, 2013):

- Diversos *ácidos*, entre ellos el ácido sulfúrico, el clorhídrico, el nítrico y otras sustancias como los ácidos orgánicos y bases como el hidróxido sódico y el amoníaco, que provienen de la actividad industrial.

Según Procalidad Ambiental (2013) estos compuestos pueden tener efectos perjudiciales en el medio receptor, sobre todo en la flora y la fauna, ya que al acidificar o basificar las aguas, rompen el equilibrio ecológico del medio provocando graves alteraciones en el ecosistema. Cabe destacar que los microorganismos solo pueden vivir en un determinado rango de pH, relativamente estrecho y crítico.

Los valores extremos de pH también tienen efectos desfavorables sobre el emulsionamiento de aceites, la corrosión, precipitación, precipitación o volatilización de sulfuros y otros gases, etc. En el medio receptor son tóxicos y acentúan los efectos perjudiciales de otros contaminantes (Procalidad Ambiental, 2013).

El pH es un parámetro válido para predecir las propiedades químicas y biológicas de los efluentes, pero no suministra información sobre la cantidad de ácidos y bases presentes en el agua. Sin embargo, las normas de calidad de los efluentes se basan en estos valores máximos y mínimos permitidos. (Procalidad Ambiental, 2013).

En el acuerdo gubernativo 236-2006 indica que el pH del agua debe estar entre 6-9 unidades de Potencial de Hidrógeno.

#### **4.3.3.2 Nitrógeno**

El nitrógeno presente en el medio acuático puede existir en cuatro formas diferentes (Procalidad Ambiental, 2013):

- Nitrógeno orgánico.

- Nitrógeno amoniacal.
- Compuesto en forma de nitritos.
- Compuestos en forma de nitratos.

En el agua residual sin tratar están presentes las dos primeras. La descomposición por las bacterias transforma fácilmente el nitrógeno orgánico en amoniacal en la cantidad relativa de amoníaco presente es un indicativo de la edad del agua residual (Procalidad Ambiental, 2013).

El acuerdo gubernativo 236-2006 determina que debe haber un máximo de 50ml/lit de Nitrógeno total en el agua residual.

#### **4.3.3.3 Fósforo**

Según Villaseñor Camacho, J. (1998), el Fósforo en las aguas residuales proviene principalmente de desechos humanos, actividades industriales y detergentes sintéticos y productos de limpieza. La influencia de los detergentes es fundamental en el contenido en fósforo de las aguas residuales. El sistema de pretratamiento ayuda a eliminar gran cantidad de Fósforo del agua.

Según Procalidad Ambiental (2013), el fósforo total en aguas residuales puede dividirse en las siguientes formas:

- Ortofosfato inorgánico soluble.
- Fosfatos condensados o polifosfatos inorgánicos solubles
- Fosfato orgánico soluble

El acuerdo gubernativo 236-2006 indica que las aguas residuales deben contener un máximo de 10 mg/l. de Fósforo total.

#### **4.3.3.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

De acuerdo a Procalidad Ambiental (2008) la DBO representa la cantidad de oxígeno consumido al degradar materia de ser oxidada de forma biológica.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es el parámetro más importante en el control de contaminación del agua. Este dato se utiliza para medir la contaminación orgánica, esto para determinar una base para estimar el oxígeno necesario para los procesos biológicos y como un indicador del rendimiento de los procesos (Analiza Calidad, 2008).

#### **4.3.3.5 Demanda química de oxígeno**

Este es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida (Procalidad Ambiental, 2013).

De acuerdo a Analiza calidad (2008), la DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables. Es por esto que la reproductividad de los resultados y su interpretación no pueden ser satisfechas más que en condiciones de metodología de ensayo bien definidas y estrictamente respetadas.

#### **4.3.3.6 Coliformes fecales**

Las bacterias coliformes fecales son organismos que se encuentran naturalmente en las heces de seres humanos y animales, y su presencia en fuentes y cuerpos de agua se utiliza como indicador de contaminación biológica. La bacteria tiene un impacto muy particular y una serie de efectos en el medio ambiente y la salud pública (Campos, I. 2003).

De acuerdo a Campos (2003), la especie predominante en las aguas es *Escherichia Coli*, sin embargo, también puede estar presente *Klebsiella pneumuniae* y *Enterobacter* en aguas contaminadas con materia fecal.

La mejor forma de eliminar estas bacterias del agua, es la desinfección, siendo más usada la cloración (Campos, I; 2003). El acuerdo gubernativo 236-2006 indica que el límite máximo permisible es  $<1 \times 10^5$  NPM (Número más probable en Mililitros).

#### 4.4 Carga contaminante

De acuerdo a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), la carga contaminante es la medida utilizada para determinar el grado de contaminación presente en los cuerpos de agua.

De acuerdo a la UNAD, para conocer la carga contaminante del agua es necesario contar con el dato del caudal del efluente y la concentración del contaminante a medir. La carga contaminante se mide de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{Carga Contaminante} = \text{Concentración} * \text{Caudal} * 0,0864$$

Donde

Carga contaminante (en kg/d)

Concentración (en mg/L)

Caudal (en L/s)

El valor 0,0864 es un factor de conversión para pasar de mg/s a kg/d, que se explica a continuación (UNAD):

$$1 \frac{mg}{s} \cdot \frac{86400 s}{1 d} \cdot \frac{1 kg}{1000000 mg} = \frac{86400}{1000000} = 0,0864 \frac{kg}{d}$$

**Figura 6. Ecuación para carga contaminante**

**Fuente: UNAD**

#### 4.5 Laguna de Oxidación

De acuerdo con Henry y Leinke (1999), una laguna de oxidación es una pileta poco profunda (uno a dos metros) que se utiliza para el tratamiento biológico de diversos efluentes municipales o industriales. En este tipo de estanque o laguna, los sólidos sedimentables retenidos sufren descomposición aerobia en el fondo; mientras que los residuos orgánicos son transformados a  $CO_2$ .



Los sistemas de lagunas de oxidación se utilizan, generalmente, para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, pequeños municipios o empresas con la errónea creencia, de que funcionan con muy poco mantenimiento.

Si estos sistemas no son mantenidos correctamente, con el tiempo, comienzan a colapsar provocando sobrenadantes en superficie y emanaciones de olores desagradables. Esto provoca a incumplir con los parámetros estipulados en las normativas vigentes (Tratamiento de efluentes, Biotecnología; 2010).

De acuerdo con la página en línea de Tratamiento de efluentes, Biotecnología (2010), estos problemas generalmente se deben a dos temas fundamentales:

- El diseño y construcción
- La administración del sistema

Con respecto a la construcción, es importante la forma en que ingresa el afluente y como se conecta una con otra. Se deben establecer las profundidades correctas a fin de lograr los sistemas biológicos adecuados. Y en cuanto a la administración, no basta con hacer un simple mantenimiento; es fundamental generar y conservar biomasa correcta (Tratamiento de efluentes, Biotecnología; 2010).

#### **4.6 Eficiencia**

De acuerdo con la RAE (2014), la eficiencia es la capacidad de disponer de algo para conseguir un efecto determinado.

De acuerdo al autor, la eficiencia en este caso, se mide de acuerdo a la cantidad de carga contaminante eliminada durante el proceso de tratamiento de aguas residuales. Esta se mide con el objetivo de conocer la calidad del tratamiento que recibe el agua, para luego ser vertida en afluentes o utilizada para riego.

La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales es importante, ya que ésta es devuelta a los ecosistemas; por lo cual, debe ser tratada eficientemente para no dañarlos (Autor, 2015)

En este estudio se mide la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales; tomando el afluente y el efluente de este sistema se conoce el porcentaje de eficiencia según cada parámetro seleccionado.

Para medir la eficiencia se utilizó la siguiente ecuación (López, B; 2014):

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100$$

Donde:  
E= Eficiencia  
S= Carga contaminante de salida

**Figura 7. Ecuación para eficiencia**

**Fuente: López B. 2014**

#### **4.7 Manual de operaciones**

Un manual de operaciones es un documento que nos da indicaciones de lo que debemos hacer y cómo debemos hacerlo; para la elaboración de este se deben seguir los siguientes cinco pasos adecuadamente.

De acuerdo a PyMe (2013), estos son los datos que debe contener un manual de operaciones:

- ✓ Todo manual debe contener la información básica; es decir: portada con identificación, nombre del procedimiento a describir y logotipo de la empresa.
- ✓ Debe tener un objetivo claro, ya que la secuencia de los procedimientos conllevan a una meta establecida.
- ✓ Se debe definir al o los responsables de cada tarea a realizar.

- ✓ Las actividades se deben describir claramente, es decir explicar de forma clara los procedimientos.
- ✓ Para llevar a cabo un seguimiento de las acciones, deben crearse formatos, documentos o sistemas, que detallen que acciones se realizaron y cuáles hicieron falta. Estos deben incluirse en el manual.
- ✓ Se pueden incluir diagramas de flujo que permitan conocer cuál es la secuencia de las actividades a lo largo del procedimiento.

El objetivo de un manual de operaciones es ser una guía para que al final de un período o una auditoria de calidad se pueda determinar si los procedimientos se realizaron de la forma indicada (PyMe, 2013).

#### **4.8 Método estadístico aleatorio simple**

Un método estadístico es aquel que se basa en la equiprobabilidad que tienen todos los individuos de ser elegido como parte de una muestra. En esta investigación se ha utilizado el método estadístico aleatorio simple, el cual implica el siguiente procedimiento, de acuerdo a Vivanco, M. (2005):

1) se asigna un número a cada individuo de la población y 2) a través de algún medio mecánico (bolas dentro de una bolsa, tablas de números aleatorios, números aleatorios generados con una calculadora u ordenador, etc.) se eligen tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño de muestra requerido.

Este procedimiento, atractivo por su simpleza, tiene poca o nula utilidad práctica cuando la población que estamos manejando es muy grande.

#### **4.9 Tipos de muestras de agua**

De acuerdo a Cegesti (2008), existen dos tipos de muestras: Simple y compuesta. Una muestra simple se toma de un sitio determinado una sola vez mientras que una muestra compuesta es obtenida de diferentes momentos y se colocan en el mismo recipiente o en recipientes separados.

#### **4.10 Métodos para calcular volumen**

De acuerdo a Analiza calidad (2008) el volumen de una figura es la medida de cuánto espacio tridimensional ocupa. El método utilizado depende de la forma de cada estructura; en este caso ya que la laguna es circular, se utiliza la ecuación de  $V = \pi r^2 h$ ; donde V es volumen,  $\pi = 3.1416$ ;  $r^2$  = radio al cuadrado y h = altura.

## V. Materiales y métodos

A continuación se muestran las actividades realizadas de acuerdo a los objetivos de la investigación.

### 5.1 Cuantificación de la carga contaminante presente en el agua residual

Para llevar a cabo esta evaluación fue necesario realizar una medición de caudal de entrada y salida de la laguna de oxidación de INALSA S.A.; también se realizó la toma de muestra de agua residual de tipo especial para ser enviada al laboratorio Soluciones Analíticas para su respectivo análisis.

#### 5.1.1 Materiales

**Cuadro 1. Materiales para medición de caudal**

Cantidad	Descripción	Costo (Q)
1	Recipiente de 1 galón	Q 2.00
1	Marcador permanente	Q 4.00
1	Probeta	NA
1	Cronómetro	NA
1	Lápiz	Q 1.00
1	Libreta de campo	Q 5.00
1	Embudo	Q 7.00
1	Codo de PVC	Q 10.00
Total		<b>Q 27.00</b>

**Fuente: el autor, agosto 2015**

## 5.1.2 Métodos

### 5.1.2.1 Medición del caudal

A continuación se detallan las actividades realizadas para la medición de caudales de entrada y salida de la laguna de oxidación.

#### a. Determinación de los puntos de medición.

Se determinaron dos puntos de medición para caudal; siendo:

- ✓ La entrada de agua residual a la laguna de oxidación (caudal uno) y
- ✓ Los dispersores en el campo de riego (caudal dos).

#### • Medición de caudales

**Caudal uno**, entrada de agua a la laguna de oxidación. Este caudal se tomó de la tubería de desfogue a la laguna de oxidación.

- Con la ayuda de una probeta se calcularon dos litros de agua; marcando el nivel de agua en el galón con un marcador permanente.
- Se colocó el recipiente ya marcado, bajo el efluente de la tubería utilizando un embudo para evitar derrames.
- Utilizando un cronómetro se tomó el tiempo en que tardó en llenar el recipiente hasta la línea marcada con anterioridad. Esto se repitió tres veces en cada toma de muestra.

**Caudal dos**, dispersores en campo de riego. Este caudal se tomó de los dispersores en campo de riego (ver figura 6, página 43).

- Los aspersores seleccionados para tomar la muestra se obtuvieron utilizando el método estadístico aleatorio simple.
- Para medir este caudal se utilizó un codo de PVC colocándolo sobre el aspersor sin la boquilla atomizadora rotativa.
- Con el mismo recipiente utilizado en el caudal uno, se colocó bajo el codo y se dejó llenar hasta la línea marcada midiendo el tiempo de llenado.
- Se repitió este procedimiento tres veces, para luego calcular el tiempo de llenado promedio.

#### b. Determinación de caudales

Se utilizó la siguiente ecuación:

$Q = V/T$

Donde:  
 Q= Caudal  
 V= Volumen  
 T= Tiempo de llenado

**Figura 8. Ecuación para caudal**

**Fuente: Torres, M; Paz, K. (2000).**

### 5.1.3 Toma de muestra uno y dos

Como parte de la medición de la carga contaminante y eficiencia de la laguna de oxidación; fue necesario recolectar muestras de entrada (muestra uno) y salida de agua de INALSA S.A (muestra dos). A continuación se describen los materiales y métodos utilizados para obtenerlas.

#### 5.1.3.1 Materiales

**Cuadro 2. Materiales utilizados para toma de muestra.**

Cantidad	Descripción	Costo (Q)
1	Termómetro digital	Q 250.00
	Tiras medidoras de acidez	NA
1	Paleta de vidrio esterilizada	NA
2	Frascos de vidrio 1000ml	<i>Estos costos abarcan el precio de los análisis.</i>
2	Frascos de plástico 1000ml	
4	Bolsas estériles	
2	Análisis fisicoquímico y microbiológico	Q 2780.00
1	Bolsa de hielo	Q 10.00
1	Envío de análisis al laboratorio	Q 50.00
1	Codo de PVC	Q 10.00
Total		<b>Q 3090.00</b>

**Fuente: el autor 2015, con base a gastos realizados durante la investigación.**

### 5.1.3.2 Métodos

Se realizó una muestra compuesta para ambos casos (muestra uno y dos) la cual se determinó por medio del efluente obtenido con anterioridad (entrada y salida de agua) las muestras y volumen necesario. La metodología utilizada en dicha actividad fue la siguiente:

Los horarios de descarga de aguas residuales de INALSA S.A. se presentan en el cuadro 3, página 41.

#### 5.1.3.2.1 Toma de muestra uno

**Cuadro 3. Horarios de descarga de aguas residuales de tipo especial a laguna de oxidación de INALSA S.A.**

Descripción	Horarios
Descarga de agua residual tipo especial: por actividades de producción	De 6:00 a 17:00
Descarga de agua residual tipo especial: por actividades de limpieza	De 18:00 a 2:00

**Fuente: Ramos, (2015)**

Según los horarios de descarga y el artículo 49 del acuerdo gubernativo 236-2006 (ver anexo 4) se realizó la toma de muestra cómo se presenta en el cuadro 4 con la finalidad de obtener una muestra representativa.

La muestra uno se tomó del agua de entrada a la laguna de oxidación y la muestra dos, se obtuvo de los aspersores de agua sobre el campo de vetiver.



**Cuadro 4. Toma de muestras simples para composición de muestra compuesta**

<b>Hora de toma de muestra</b>	<b>cantidad</b>	<b>Lugar</b>
9:00	1000ml	Tubería de desfogue a laguna de oxidación
12:00	500ml	Tubería de desfogue a laguna de oxidación
15:00	1000ml	Tubería de desfogue a laguna de oxidación
18:00	500ml	Tubería de desfogue a laguna de oxidación
<b>Total</b>	<b>3000ml = 3 litros</b>	

**Fuente: el autor 2015, según artículo 49 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.**

Los pasos seguidos durante la toma de muestra fueron:

- ✓ En cada toma de muestra simple se obtuvo el volumen de agua que se detalla en el cuadro 4, que fue almacenada en un frasco hecho de material plástico.
- ✓ Las muestras simples fueron almacenadas en el refrigerador del laboratorio microbiológico de la Industria Alimenticia San Antonio S.A, a una temperatura de 4°C.
- ✓ Finalizada la toma de las 4 muestras simples, fueron vertidas en un recipiente en donde se homogenizaron con la ayuda de una paleta esterilizada.
- ✓ Se tomó de la mezcla homogenizada dos litros para ser utilizado como la muestra compuesta, y se colocó en un frasco de plástico con tapa de rosca.
- ✓ El recipiente se rotuló con los siguientes datos:
  - Tipo de análisis
  - Nombre de la persona que tomó la muestra
  - Fecha, hora y lugar de toma de muestra

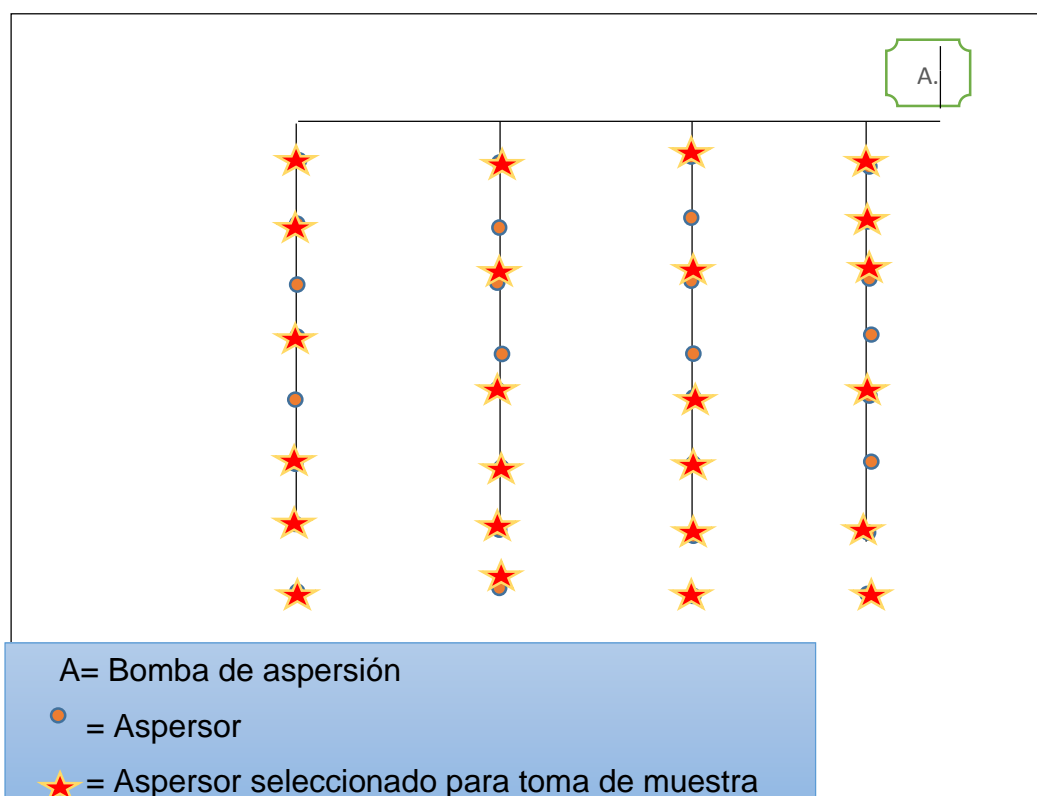
La temperatura y el potencial de hidrógeno se midieron en el lugar, en el momento de la toma de muestra. La temperatura fue medida utilizando un termómetro digital; se tomó el dato en cada una de las muestras calculando un promedio final de ellas; el pH se determinó mediante el uso de cintas medidoras de pH y al igual que la temperatura se obtuvo un promedio final de las muestras obtenidas.

La muestra para grasas se obtuvo una sola vez en cada uno de los puntos de muestreo y se depositaron 500 ml en un recipiente de vidrio esterilizado. El recipiente se identificó con los mismos datos anteriores.

Las muestras fueron empacadas y trasladadas hacia la ciudad capital en un periodo de 20 horas, las cuales se colocaron en una hielera a una temperatura de 4°C para evitar la proliferación de microorganismos de acuerdo a instrucciones obtenidas de asesor ambiental del laboratorio al que se enviaron las muestras.

#### 5.1.3.2.2 Toma de muestra dos

La muestra dos, se tomó de los aspersores de agua residual en el campo. La siguiente figura detalla el sistema de riego sobre el campo.



**Figura 9. Sistema de riego de aguas residuales**

**Fuente: autor 2015.**

Para tomar la muestra de agua de este sistema se realizaron los siguientes pasos:

a. Utilizando la ecuación para el cálculo de tamaño de muestra se determinó la cantidad de aspersores.

$$n = Z^2 \left[ \frac{N \cdot p \cdot q}{e^2 (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \right]$$

De acuerdo con Torres y Paz (2000), en este caso indican:

- n = Tamaño de la muestra
- N= Tamaño de la población de estudio (32 aspersores)
- Z = Confiabilidad estadística (90%- 1.64)
- p = Probabilidad de éxito (0.50)
- q = Probabilidad de fracaso (0.50)

**Figura 10. Ecuación para tamaño de la muestra**

**Fuente: Torres y Paz (2000)**

b. Teniendo el número de la muestra (24) se procedió a la selección de los aspersores, utilizando el método aleatorio simple (ver figura 5).

Se tomó por cada muestra la cantidad de 250 ml, se homogenizó para obtener la muestra compuesta; se envió al laboratorio bajo las mismas condiciones que la muestra uno.

#### **5.1.3.2.3 Análisis microbiológico para coliformes fecales**

Para llevar a cabo la evaluación de carga contaminante se realizó un análisis microbiológico para coliformes fecales. Este análisis se realizó en el laboratorio Soluciones Analíticas certificado bajo la norma ISO/IEC 17025; avalado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala.

Se realizó un análisis para agua residual de entrada y salida de la laguna en los puntos ya establecidos anteriormente para toma de muestra.

## **5.2 Evaluación de la carga contaminante del agua residual de tipo especial de INALSA S.A. para los parámetros fisicoquímicos**

Para la evaluación de la carga contaminante de los parámetros fisicoquímicos se realizó un análisis del agua de entrada y salida de la laguna de oxidación.

Estos análisis se realizaron obteniendo muestras de agua residual en los mismos puntos mencionados anteriormente, siendo estos: la entrada de agua a la laguna de oxidación y el campo de riego. Utilizando la misma metodología detallada en los acápites 5.1.2.1 y 5.1.2.2.2.

El análisis fisicoquímico del agua residual de tipo especial realizado comprende los siguientes parámetros:

- Temperatura
- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos suspendidos
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Potencial de hidrógeno
- Color
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La carga contaminante para cada parámetro se realizó utilizando la siguiente ecuación (Universidad abierta y a Distancia, 2015):

$$\text{Carga Contaminante} = \text{Concentración} * \text{Caudal} * 0,0864$$

Donde:

Carga contaminante (en kg/d)

Concentración (en mg/L obtenida del análisis de laboratorio)

Caudal (en L/s)

El valor 0.0864 es un factor de conversión de mg/s a kg/d

### 5.3 Medición de volumen de laguna de oxidación

Esta medición se realizó para cumplir con el propósito de determinar la capacidad de almacenamiento con el que cuenta la laguna de oxidación.

#### 5.3.1.1 Materiales

**Cuadro 5. Materiales para medición de volumen de la laguna de oxidación**

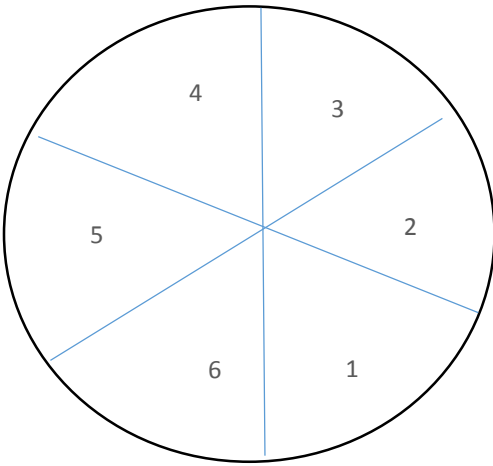
Cantidad	Descripción	Costo (Q)
1	Cinta métrica	Q 20.00
1	Masking tape	Q 4.00
1	Par de guantes de látex	Q 5.00
<b>Total</b>		<b>Q 29.00</b>

**Fuente: el autor, 2015**

#### 5.3.1.2 Métodos

Para medir el volumen de la laguna de oxidación se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Se midió el perímetro de la laguna con una cinta métrica, colocando el cero en un punto específico marcado con tiza de color para determinar el punto de inicio.
- El fondo de la laguna de oxidación tiene una pendiente, que es necesaria para absorber el agua por medio de una tubería accionada por la bomba de aspersión. Por lo tanto, fue necesario segmentar la laguna y realizar las mediciones de profundidad necesarios para luego obtener un promedio.



**Figura 11. Secciones para medición de profundidad de laguna de oxidación**

**Fuente: Con base a mediciones realizadas, agosto 2015**

- Se midió la altura a la que se llena la laguna con el agua residual durante un día de proceso, esta medición se realizó con una cinta métrica en seis puntos diferentes ya que la altura de la laguna es irregular, y luego se tomó el promedio.
- Determinación del radio del cilindro. Con los datos obtenidos se determinó el radio de la circunferencia con la siguiente ecuación (Wikihow, 2008):

$$r = C/2\pi$$

Donde:  
 r= Radio  
 C=circunferencia en metros.  
 $\pi = 3.14159$

**Figura 12. Ecuación para determinar radio de la circunferencia**

**Fuente: Wikihow (2008)**

- Determinación del volumen del cilindro. Con el dato del radio y la altura promedio obtenida, se utilizó la siguiente ecuación para calcular el volumen:

$$V = \pi * r^2 * h$$

Donde:  
 V = Volumen en m<sup>3</sup>  
 $\pi$  = 3.14159  
 r<sup>2</sup> = radio al cuadrado  
 h = altura

**Figura 13. Ecuación para determinar volumen**

**Fuente: Wikihow (2008).**

- Con el resultado obtenido de la ecuación anterior, se determinó la cantidad de agua que la laguna puede almacenar en período de 15 horas, ya que es el tiempo en que tarda en llegar a su capacidad máxima y así evitar rebalses; se estableció utilizando la siguiente ecuación:

$$V(m^3) * \left( \frac{1000l}{1m^3} \right) = V(l)$$

Aplicando la ecuación anterior se determinó el volumen en litros, que la laguna de oxidación puede almacenar en un periodo de 15 horas de proceso en planta.

## 5.4 Medición de la eficiencia de la laguna de oxidación

### 5.4.1 Métodos

Para medir la eficiencia de la laguna de oxidación de Industria Alimenticia San Antonio S.A. se utilizó la siguiente ecuación (López, B; 2014):

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100$$

Donde:

E= Eficiencia

S= Carga contaminante de salida

SO= Carga contaminante de entrada

Para utilizar esta ecuación fue necesario haber obtenido con anterioridad los datos correspondientes a las cargas contaminantes de salida (S) y de entrada (SO) presente en el agua residual de INALSA S.A.

### **5.5 Elaboración del manual de operaciones propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.**

Para la elaboración del manual de operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. se realizaron las siguientes actividades:

- Análisis del manual de desechos de INALSA S.A.

Ya que la empresa cuenta con un manual general de desechos producidos en la planta, fue utilizado como base para la elaboración del manual de operaciones del sistema de tratamiento. Al leer y verificar las actividades realizadas para disposición final de las aguas residuales se determinaron los procedimientos a realizar para el mantenimiento del sistema de tratamiento.

- Redacción del manual de operaciones propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.

Partiendo de las actividades implementadas durante el programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, para la limpieza de la laguna de oxidación de INALSA S.A. se elaboró el manual de operaciones del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial, en donde se describe el funcionamiento y mantenimiento adecuado para la planta de tratamiento (ver anexo 1).



## VI. Resultados y discusión

De acuerdo con la información obtenida anteriormente por medio de la medición del volumen de la laguna de oxidación de INALSA S.A., se determinó que tiene una capacidad de 162.24 m<sup>3</sup> de agua; la laguna llega a su máximo de capacidad en 15 horas seguidas de llenado sin extracción del agua para riego.

Por lo tanto, la laguna de oxidación tiene una capacidad de 162.24 m<sup>3</sup> de agua residual durante un día laboral, equivalente a 15 horas de actividades entre producción y limpieza de las instalaciones.

### 6.1 Carga contaminante

#### 6.1.1 Datos obtenidos In Situ para determinar carga contaminante.

Para determinar la carga contaminante fue necesario obtener el caudal de entrada y salida de la laguna de oxidación.

Para obtenerlo se tomaron tres muestras para determinar un caudal promedio del agua de entrada y de salida.

**Cuadro 6. Tiempos de caudales de entrada y salida**

Muestra	Tiempo de entrada	Tiempo de Salida
1	19.25 s	9 s
2	6.53 s	9.33 s
3	7.52 s	8.3 s
<b>Tiempo Promedio</b>	<b>11.03 s</b>	<b>8.87 s</b>

**Fuente:** el autor, agosto 2015

**Datos obtenidos *In Situ*.**

En el cuadro anterior se muestran los datos obtenidos *In Situ* del tiempo que tardó en llenar un recipiente con capacidad de dos litros; tanto en el caudal de entrada como en el de salida. El tiempo promedio fue de 11.03 segundos en entrada y 8.87 segundos en la salida; la diferencia de los tiempos de salida se debe a la presión que ejerce la bomba de aspersión al expulsar el agua al campo de riego. Por tanto, los caudales estimados para cada uno son los siguientes:

**Cuadro 7. Caudales estimados para el agua de entrada y salida de la laguna de oxidación.**

Caudal de entrada	Caudal de salida
0.181 l/s	0.225 l/s

**Fuente: el autor, agosto 2015**

El caudal de entrada a la laguna de oxidación es de 0.181 litros/segundo, por lo tanto, ingresan a la laguna un total de 9,774 litros durante las 15 horas laborales. El caudal de salida es de 0.225 litros/segundo por lo tanto se descargan un total de 7,290 litros durante las 9 horas de funcionamiento de la bomba debido al horario laboral, este tiempo varía según el proceso de producción de plátano pre frito planificado para cada día .

Ya que la laguna no es vaciada totalmente cada día, el agua restante permanece en la laguna aproximadamente 13 horas, hasta el siguiente día.

**6.1.2 Carga contaminante del agua residual de entrada y salida del sistema para coliformes fecales.**

Los resultados obtenidos de los análisis realizados en el laboratorio *Soluciones Analíticas*, así como el obtenido *In Situ* (temperatura, pH y caudal) son los siguientes:

**Cuadro 8. Resultados del análisis microbiológico de entrada y salida de la laguna de oxidación.**

Coliformes fecales		Dimensionales
Entrada	Salida	
>24 E+5	>24 E+5	NMP/100 ml

**Fuente: Resultados de análisis de laboratorio de agua residual de tipo especial de Industria Alimenticia San Antonio S.A., Soluciones Analíticas, agosto 2015.**

El cuadro anterior muestra los resultados para coliformes fecales presentes en el agua residual de tipo especial de INALSA S.A.; para ambos casos, entrada y salida, el valor es el mismo. Esto (>24 E+5), significa que existe un total de 2, 400,000 NMP/100ml; lo que sobrepasa a los 10,000 NMP/100ml establecido en el acuerdo gubernativo 236-2006.

En este parámetro la concentración se mantiene en la entrada y salida de agua de la laguna de oxidación; por lo que se puede determinar que la laguna no cumple la función de disminuir los coliformes fecales presentes en el agua; sin embargo, es necesario mencionar que el suelo de la laguna de oxidación se ha deteriorado conforme al tiempo que ha pasado desde su construcción, por lo que el agua tiene contacto con el suelo bajo la laguna, dando lugar a la filtración de agua y otros factores presentes en el lugar, también, ésta laguna se encuentra sin techo, por lo que suelen incorporarse animales que accidentalmente caen al agua, hojas de los árboles adyacentes, y residuos de aves que pasan por el lugar.

Por lo tanto, es de considerar que la eficiencia del tratamiento de aguas residuales no se dé en el porcentaje esperado ya que la infraestructura de la laguna no se encuentra en las condiciones ideales para el tratamiento adecuado del agua.

También es necesario mencionar que el sistema de tratamiento no es eficiente debido al poco tiempo que permanece el agua en la laguna y los residuos de la misma de un día a otro incrementado la actividad microbiana.

### 6.1.3 Resultados de la carga contaminante para los parámetros fisicoquímicos

Para determinar carga contaminante para los parámetros fisicoquímicos se tomaron datos In situ, como la temperatura y el ph. A continuación los datos obtenidos.

**Cuadro 9. Temperatura promedio del agua residual de entrada a la laguna de oxidación.**

<b>Muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	27.1
2	25.8
3	28.0
<b>Promedio</b>	<b>26.9</b>

**Fuente: el autor, agosto 2015**

**Cuadro 10. Temperatura promedio del agua residual de salida de la laguna de oxidación.**

<b>Muestra</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	28.2
2	29.7
3	31.5
<b>Promedio</b>	<b>29.8</b>

**Fuentes: el autor, agosto 2015**

La temperatura promedio para el agua de entrada a la laguna de oxidación es de 26.9 °C, esto se encuentra dentro del rango establecido en el acuerdo 236-2006, el agua de entrada a la laguna de oxidación no tiene temperaturas muy altas o bajas ya que es utilizada únicamente en el proceso de lavado de fruta y limpieza de pisos de las instalaciones.

La temperatura del agua de salida es de 29.8 °C; como puede observarse es dos grados más alta a la de entrada; esto se debe a la exposición directa a la energía solar y actividad microbiana durante la descomposición de la materia orgánica presente en el agua residual.

**Cuadro 11. Resultados del potencial de Hidrógeno (pH) del agua de entrada**

Muestra	pH
1	7
2	7.5
3	7
<b>Promedio</b>	<b>7.16</b>

Fuente: el autor, agosto 2015.

**Cuadro 12. Resultados del potencial de Hidrógeno (pH) del agua de salida**

Muestra	pH
1	6
2	6
3	5.5
<b>Promedio</b>	<b>5.8</b>

Fuente: el autor, agosto 2015

El pH del agua de entrada a la laguna de oxidación es de 7.16  $\mu$ , el de salida es de 5.8  $\mu$  por lo que puede decirse que el agua de entrada tiene un pH neutro, sin embargo; el agua de salida tiene un pH ácido debido a la descomposición de materia orgánica.

Los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio *Soluciones Analíticas*, son los siguientes:

**Cuadro 13. Resultados de análisis fisicoquímico y microbiológico de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.**

Parámetro	Dimensionales	Valor de entrada	Valor de salida
Temperatura	°C	26.9*	29.8*
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH	7.16*	5.8*
Grasas y aceites	mg/L	28	33
Materia flotante	Ausente/Presente	Ausente	Ausente
Sólidos en suspensión totales	mg/L	80	76
Nitrógeno total	mg/L N	112	224
Color	u PtCo	414	35
Sólidos sedimentables	ml/L	1	<0.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1038	859
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	551	443
Fósforo	mg/L P	0.54	1.0
Relación DQO/DBO		1.89	1.94
Relación DBO/DQO		0.53	0.52

**Fuente: Soluciones Analíticas, agosto 2015**

**\*Datos obtenidos *In Situ***

Los datos del cuadro anterior demuestran que el nivel de concentración de grasas y aceites, Nitrógeno total y Fósforo, de salida son mayores al de entrada, esto se debe a la descomposición de la materia orgánica presente en el agua, ya que ésta no es retirada por completo por lo que al ingresar agua nueva se incrementa la materia orgánica ya presente.

Partiendo de estos datos de laboratorio, se determinaron las cargas contaminantes de entrada y salida presentes en el agua utilizando la siguiente ecuación (Universidad Nacional a Distancia, en línea, 2015):

$$CC = \text{Concentración} * Q * 0.0864$$

**Cuadro 14. Carga Contaminante del agua residual de tipo especial de INALSA S.A.**

Parámetro	Carga Contaminante de entrada (kg/d)	Carga Contaminante de salida (kg/d)
Grasas y aceite	0.435	0.64
Sólidos en suspensión	1.24	1.47
Nitrógeno total	1.74	4.35
Color	*414	*35
Sólidos sedimentables	0.015	0.00194
DQO	16.14	16.699
DBO	8.569	8.611
Fósforo	0.00839	0.0194

**Fuente: Autor 2015**

**Con base a los resultados de análisis de laboratorio.**

\*El color es medido en U PtCo (unidades de platino cobalto) por lo que el valor se da en las misma unidades.

Como se observa en el cuadro anterior, la carga contaminante para grasas y aceites, sólidos en suspensión, nitrógeno total, DQO, DBO y Fósforo es mayor en la salida que en la entrada. Esto se debe a que la laguna de oxidación no es vaciada por completo diariamente, acumulando contaminantes, por lo que la carga es mayor al salir.

## 6.2 Capacidad de la laguna de oxidación

Para el cálculo de la capacidad de la laguna se calculó el volumen, a continuación se detallan los resultados.

### 6.2.1 Circunferencia

**Cuadro 15. Tabla de medidas de circunferencia de la laguna de oxidación**

<b>No. De sección</b>	<b>Medida (m)</b>
1	2.50
2	2.40
3	2.17
4	2.17
5	2.50
6	2.40
7	2.27
8	2.36
9	2.58
10	2.50
11	2.38
12	2.56
13	2.58
14	2.54
15	2.36
16	2.40
17	2.67
18	2.50
<b>Total de la circunferencia</b>	<b>43.86 m.</b>

**Fuente:** con base a mediciones realizadas a la laguna, agosto 2015.



### 6.2.2 Profundidad

**Cuadro 16. Tabla de profundidades de laguna de oxidación**

No. De sección	Medida (m)
1	1.10
2	97
3	1.04
4	1.02
5	1.10
6	1.13
Total	6.36 m.
<b>Promedio de profundidad</b>	<b>1.06 m.</b>

**Fuente: autor, 2015.**

Tomando como base los datos de circunferencia y profundidad, se determinó que la laguna de oxidación tiene una capacidad de 162,240 litros de agua. El agua residual que se acumula en la laguna es bombeada durante 9 horas seguidas aproximadamente, al campo de riego sembrado con vetiver. Por lo que cada litro de agua tiene un tiempo de permanencia de menos de un minuto en la laguna, lo que no permite que se sedimenten la mayor cantidad de sólidos disueltos y los dispersores en campo de riego se obstruyan; esto aumenta el costo de mantenimiento del sistema ya que deben ser verificados y limpiados las veces que sea necesario para que funcionen en óptimas condiciones.

### 6.3 Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial

Para determinar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. se utilizó la siguiente ecuación (López, B; 2014):

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100$$

A partir de la aplicación de la ecuación anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 17. Eficiencia de la laguna de oxidación para cada parámetro**

<b>Parámetro</b>	<b>*Aplicación de la ecuación (% de eficiencia )</b>	<b>** % de eficiencia real</b>
Grasas y aceites	-46.52	0%
Sólidos en suspensión totales	-18.09	0%
Nitrógeno total	-100	0%
Color	91.54	91.54%
Sólidos sedimentables	90	90%
Demanda Química de Oxígeno	17.24	17.24%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	19.60	19.60%
Fósforo	-85.18	0%

**Fuente: autor, agosto 2015**

***Con base en la tabla de carga contaminante.***

En el cuadro anterior se observan dos columnas para eficiencia; en la primera (\*) se demuestran los datos obtenidos por la aplicación de la ecuación mencionada anteriormente, de acuerdo al cálculo correspondiente; en la segunda columna (\*\*) se determina, según el autor, el porcentaje real en el que se puede determinar si la laguna es eficiente o no para cada uno de los parámetros mencionados.

Los parámetros de grasas y aceites, sólidos en suspensión total, nitrógeno total, y fósforo están dados en números negativos (primer columna) que indica que la laguna no es eficiente para estos.

A continuación se muestra una tabla con la comparación de los resultados obtenidos del agua residual de salida de la laguna de oxidación de INALSA S.A. con los límites máximos permisibles, según el artículo 21 del acuerdo gubernativo 236-2006, para entes

generadores nuevos, tomando en cuenta que la empresa inició el proceso de plátano en el año 2014.

**Cuadro 18. Comparación de concentraciones de contaminantes.**

Parámetro	Dimensiones	Valor de salida, laguna de oxidación INALSA S.A	Límite máximo permisible acuerdo 236-2006	Cumplimiento
<b>Temperatura</b>	°C	29.8	+/-7	Si
<b>Potencial de Hidrógeno</b>	Unidades de pH	5.8	6 a 9	No
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	33	10	No
<b>Materia flotante</b>	Ausente/ Presente	Ausente	Ausente	Si
<b>Sólidos en suspensión totales</b>	mg/L	76	100	Si
<b>Nitrógeno total</b>	mg/L N	224	20	No
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 ml	>24 E+5	<1x10 <sup>4</sup>	No
<b>Color</b>	u PtCo	35	500	Si
<b>Sólidos sedimentables</b>	ml/L	<0.1	NA	-----
<b>Fósforo</b>	mg/L P	1.0	10	Si
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	mg/L	443	200	No

**Fuente: acuerdo gubernativo 236-2006 y resultados de análisis de laboratorio**

Como se muestra en el cuadro 18, los parámetros que se encuentran fuera del límite establecido por el acuerdo gubernativo 236-2006 son: potencial de Hidrógeno, grasas y aceites, Nitrógeno total, coliformes fecales, DBO y potencial de hidrógeno.

Por lo que se puede deducir que el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. no cumple con los límites establecidos por este acuerdo.

#### **6.4 Propuesta de manual de operaciones para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.**

El manual de operaciones para el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A., tiene como objetivo detallar las actividades que se deben realizar para el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento. Así también, en este se encuentran los responsables de cada tarea y el equipo necesario para su realización.

En el manual de operaciones se incluyen diagramas de flujo que muestran los tratamientos que el agua residual recorre hasta llegar al campo de riego como proceso final. En este manual, se describen las tareas diarias, semanales y mensuales que deben realizarse para el mantenimiento óptimo de la estructura de la planta de tratamiento con la que cuenta INALSA S.A. El manual completo se encuentra en el anexo 1, página 71.

## VII. Conclusiones

1. La carga contaminante presente en el agua residual de la laguna de oxidación es de 0.435 kg/d de entrada y 0.64 kg/d de salida para grasas y aceites, 1.24 kg/d de entrada y 1.47 kg/d de salida para sólidos sedimentables, 1.74 kg/d de entrada y 4.35 kg/d de salida para nitrógeno total, para DQO 16.14 kg/d de entrada y 16.699 kg/d de salida, 8.569 kg/d de entrada y 8.611 kg/d de salida para DBO, 0.00839 kg/d de entrada y 0.0194 kg/d de salida para fósforo; el color se expresa con el mismo dato obtenido directamente del análisis de laboratorio, siendo 414 UPtCo de entrada y 35 UPtCo de salida; para coliformes fecales la carga contaminante de entrada y salida es de 2, 400, 000 NMP/100ml. Por lo que se puede observar que la laguna no disminuye la carga para coliformes fecales, grasas y aceites, sólidos en suspensión, nitrógeno total, DQO, DBO y fósforo por lo que no es eficiente para estos parámetros.
2. La capacidad de almacenamiento de la laguna de oxidación en un periodo de 24 horas es de 162.24 m<sup>3</sup>, el tiempo de llenado es de 15 horas ingresando 3.004 l/s, por lo que ésta puede almacenar un máximo de 162,240 litros de agua
3. La eficiencia de la laguna de oxidación de la Industria Alimenticia San Antonio S.A. para grasas y aceites es de -46.52%, para sólidos en suspensión totales -18.09%, para nitrógeno total -100%, para fósforo -85.18%; según estos parámetros la eficiencia de la laguna de oxidación es de 0%. Para los parámetros de color, la eficiencia es de 91.54%, sólidos sedimentables es de 90%, DQO es de 17.24% y DBO de 19.60%, para estos parámetros la laguna de oxidación si es eficiente en la reducción de los mismos. Esto es debido a que el mantenimiento de la laguna de oxidación de Industria Alimenticia San Antonio S.A. no proporciona una mejora en el tratamiento del agua residual de tipo especial.

4. Se redactó el manual de operaciones para la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. Este tiene como objetivo brindar información de los procedimientos adecuados para el funcionamiento de la laguna y mejoramiento del tratamiento del agua residual; dicho manual se encuentra en el anexo 1.

## VIII. Recomendaciones

- Eliminar el foco de contaminación de coliformes fecales, siendo este el lavado de fruta y utensilios de pelado y corte, y los pediluvios de entrada debido al calzado de los empleados o incluso la filtración de agua debido a la permeabilidad del fondo de la laguna.

Impermeabilizar el suelo del fondo de la laguna de oxidación de Industria Alimenticia San Antonio S.A. para evitar la infiltración de aguas residuales sin tratar al manto freático; ya que esto afectará los ecosistemas del lugar.

- Implementar nuevos procesos de tratamiento del agua residual, tales como trampas de grasas y tratamiento secundario en el sistema para que la planta sea eficiente.
- Ampliar la infraestructura del sistema de tratamiento de agua residual de tipo especial, ya que no se dará abasto para tratar el agua residual con la capacidad que actualmente tiene la laguna de oxidación; ya que la producción aumenta anualmente.
- Mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales ya establecido implementando los nuevos procesos mencionados anteriormente, de manera que el sistema sea eficiente y la carga contaminante encontrada en la presente investigación se reduzca para cumplir con la reducción del 50% que dicta la etapa tres del acuerdo gubernativo 236-2006 para el año 2020.
- Seguir los procedimientos de limpieza y mantenimiento que se describen en el manual de operaciones, capacitar al personal para que lo conozca, realizar con la frecuencia determinada en el manual las actividades descritas y solucionar problemas de infraestructura que puedan darse de forma inmediata.

## IX. Bibliografía


1. Agua y saneamiento. 2012. Tipos de aguas residuales. (En línea) Consultado el 20 de mayo 2016. Disponible en: <http://osvyaguaysaneamiento.bligoo.com/tipos-de-guasresiduales#.V0DIdjX hDIU>
2. Analiza calidad. Asesores. 2008. Asesoramiento de la calidad. (En línea). Consultado el 28 de abril del 2015. Disponible en: <http://www.analizacalidad.com/es/contenido/?idsec=451>
3. Campos, I. 2003. Saneamiento ambiental. Universidad Nacional a Distancia. San José, C.R. P. 49.
4. Cegesti, presentaciones. 2008. Tipos de muestra. (En línea). Consultado el 23 de mayo de 2016. Disponible en: [http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/08\\_manual\\_aguas\\_muestreo\\_de\\_aguas.pdf](http://www.cegesti.org/agace/presentaciones/08_manual_aguas_muestreo_de_aguas.pdf)
5. Delgadillo, O. Et. al. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Serie Técnica. Cochabamba, BO. P. 57.
6. Depuración Industrial, Cyclus. 2002. Tratamiento primario de aguas residuales. (En línea) Consultado en 20 de abril 2015. Disponible en: <http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-primario/>
7. Estudio de Impacto Ambiental del proyecto instalado. PROMESAK. Septiembre 2014. Ingeniería y Asesoría Ambiental. Guatemala, GT. PROVIDA. P. 16-17.



8. Estudio técnico de aguas para reúso y lodos. 2010. Industria Alimenticia San Antonio S.A. Retalhuleu, GT. Empresa PROVIDA.
9. García, Y. 2015. Frecuencia de toma de muestras en laguna de oxidación. (Entrevista). Jefe de control de calidad. Industria Alimenticia San Antonio S.A. Retalhuleu, GT.
10. Henry, J. G.; Leinke, G. W. 1999. Ingeniería Ambiental. Guadalajara, MX. P. 425.
11. Hill, J. 2000. Química para el nuevo milenio. 8 ed. México D.F. Edit. Prentice Hall Hispanoamericana. P. 334-340.
12. Instituto Nacional Ecológico. 2007. Aguas residuales. (En línea). Consultado el 28 de marzo del 2015. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/265/glosario.html>
13. López, B. 2014. Programa de limpieza y desinfección. Retalhuleu, GT. Documento no controlado de INALSA S.A. P. 10-14.
14. Lothar Hess, M. 1998. Tratamientos preliminares. Compañía Estatal de tecnología de saneamiento básico de la defensa del medio ambiente. (En línea) br. Documento PDF. Consultado 21 de abril 2015. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/05862/05862-07.pdf>
15. Mérida, I. 2015. Manejo de desechos sólidos y líquidos. Departamento de producción. Industria Alimenticia San Antonio S.A. Retalhuleu, GT. Revalidación enero 2015. Fairhurts, E. P. 2-5. Documento PDF.
16. Monroe, J.; Wicander, R.; Pozo, M. 2008. Geología: Dinámica y evolución de la tierra; 4 ed. Edición Española. Madrid, ES. Copibook S.L. P. 326.

17. Procalidad ambiental, Galeón. 2013. (En línea). Consultado el 5 de abril de 2016. Documento Word. Disponible en: [www.articulo-web/anal-ph.doc](http://www.articulo-web/anal-ph.doc)
18. PyMe, empresarios. 2013. Como hacer un manual de operaciones. (En línea). Consultado el 19 de marzo 2016. Disponible en: <http://www.pymempresario.com/2013/07/5-pasos-para-hacer-un-manual-de-procedimientos/>
19. Quiminet, asesores. 2014. Osmosis inversa y carbón activado. (En línea). Consultado el 10 de abril 2016. Disponible en: [www.quiminet.com/articulos/que-es-la-osmosis-inversa-18669.htm](http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-osmosis-inversa-18669.htm)
20. Ramos, V. 20 abril 2015. Limpieza de laguna de oxidación. (Entrevista). Encargado de fontanería. Industria Alimenticia San Antonio S.A. Champerico, Retalhuleu, GT.
21. Real Academia de la Lengua Española. 2014. Eficiencia. (En línea). Consultado el 9 de abril 2016. Disponible en <http://dle.rae.es/?id=EPVwpUD>
22. Reglamento de las descargas y reúso de aguas residuales y de la disposición de lodos. 2010. Acuerdo gubernativo 236-2006. Guatemala, GT. Documento PDF.
23. Salazar, B. 2012. Escala de pH en el agua. (En línea). Consultado el 8 de abril de 2016. Disponible en: [www.ingenieriaindustrialonline.com](http://www.ingenieriaindustrialonline.com)
24. Torres, M; Paz, K. 2000. Boletín informativo, tamaño de muestra. (En línea). Consultado el 21 de marzo 2016. Disponible en: [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_02\\_BAS02.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf)

25. Tratamiento de efluentes, biotecnología. 2010. (En línea). Consultado el 12 de abril 2016. Disponible en: [http://www.dinamicaambiental.com.ar/contenidos/cont\\_m2.1.2.3\\_laguoxi.htm](http://www.dinamicaambiental.com.ar/contenidos/cont_m2.1.2.3_laguoxi.htm)
26. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (En línea). Consultado el 4 de mayo 2015. Disponible en: [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion\\_37\\_trampa\\_de\\_grasas.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358039/ContenidoLinea/leccion_37_trampa_de_grasas.html)
27. Villaseñor Camacho, J. 1998. Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas. Ingeniería química. España. P. 15
28. Vivanco, M. 2005. Muestreo Estadístico, Diseño y Aplicaciones: Muestreo Aleatorio Simple. Santiago, Cl., Edit. Universitaria. P. 69-70.
29. Water treatment solutions. Lenntech. 2014. Tratamiento de lodos. (En línea). Consultado el 27 de abril 2015. Disponible en: <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-tecnicas.htm#ixzz3YjIRUKFe>
30. Wikihow. 2008. Cálculo de volumen. (En línea). Consultado el 25 de marzo 2016. Disponible en: [http://www.ditutor.com/geometria\\_espacio/volumen\\_cilindro.html](http://www.ditutor.com/geometria_espacio/volumen_cilindro.html)

  
Vo.Bo. Licda. Ana Teresa de González  
Bibliotecaria CUNSUROC.



## **X. Anexos**

### **Anexo 1. Propuesta de manual de operaciones para la planta de tratamiento de Industria Alimenticia San Antonio S.A.**

#### **i. Introducción**

Industria Alimenticia San Antonio S.A. es una empresa dedicada al procesamiento de tajadas de plátano pre frito; para lo cual es necesario el uso de agua de calidad para asegurar la inocuidad y calidad de los alimentos proporcionados al cliente. INALSA S.A. ha implementado procesos que ayudan al mantener un equilibrio con el medio ambiente para no dañar los ecosistemas aledaños a la empresa; por lo tanto, ha optado por establecer un sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial, siendo éstas generadas durante el proceso productivo y la limpieza de las instalaciones.

El sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. se basa en los principios de reducción de contaminantes agregados al agua durante su uso; la planta de tratamiento se compone de tratamiento preliminar y tratamiento primario; la disposición final del agua tratada es en un campo de riego de área verde en el que se ha plantado vetiver para evitar la erosión, estabilizar el suelo del lugar y mediante la evapotranspiración purificar el agua.

Así como al equipo utilizado para el procesamiento del producto, se ha establecido una sistematización de actividades que se realizarán con el fin de mantener el sistema de tratamiento en buen funcionamiento y la limpieza adecuada para cada etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales.

El objetivo de este manual es proporcionar información sobre el sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de Industria Alimenticia San Antonio S.A., desde que el agua es desechada, luego de su uso, hasta que es utilizada como riego sobre el campo de vetiver. Además brinda información sobre el mantenimiento de la planta de tratamiento del agua residual de tipo especial, por lo que se describe la manera de operar cada uno de los tratamientos y su limpieza diaria, semanal y mensualmente para la optimización del tratamiento; y que la infraestructura de la planta se mantenga en óptimas condiciones.

## **ii. Objetivos**

### **General**

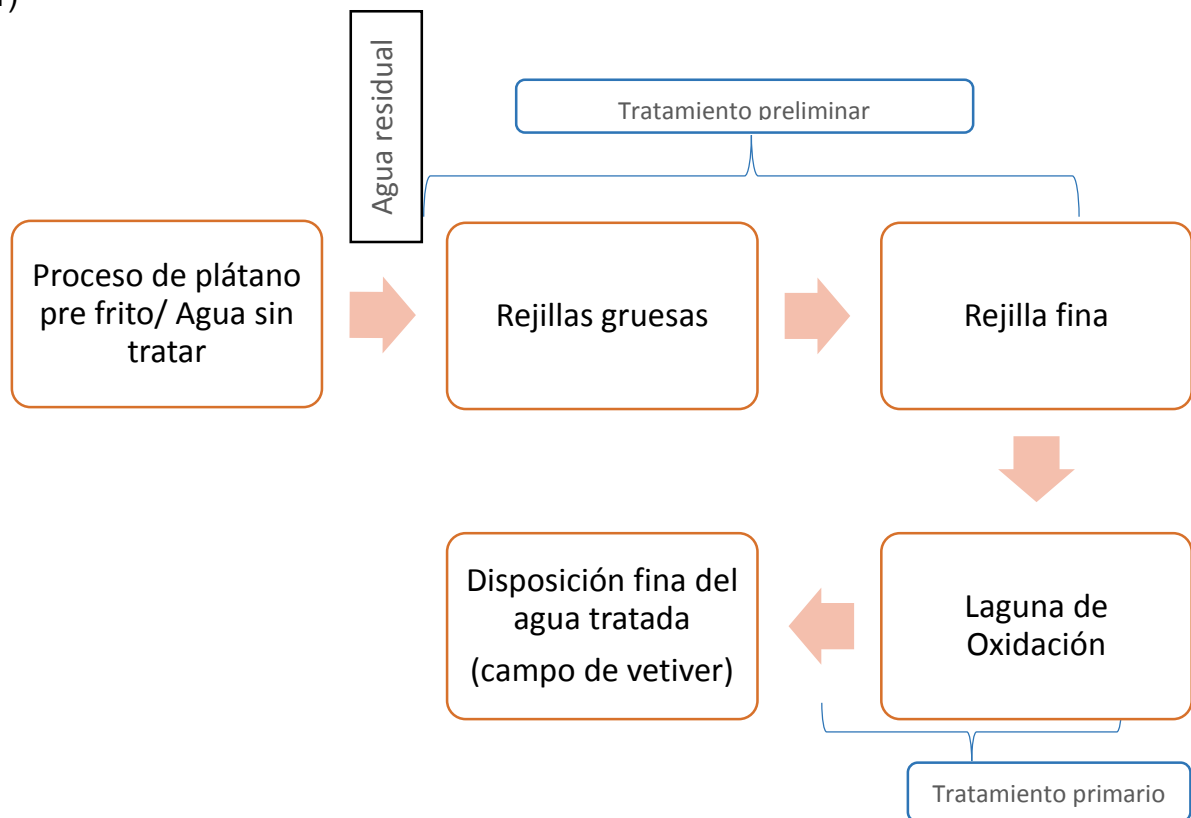
- Determinar las tareas que deben realizarse durante el funcionamiento y mantenimiento correspondiente de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de la Industria Alimenticia San Antonio S.A.

### **Específicos**

- Describir los lineamientos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de Industria alimenticia San Antonio S.A.
- Identificar a los responsables de la realización de las actividades de limpieza y mantenimiento de la planta de tratamiento de la Industria Alimenticia San Antonio S.A.
- Determinar el equipo e insumos necesarios para el funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento de Industria Alimenticia San Antonio S.A.

### iii. Descripción del proceso y funcionamiento del sistema

El sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de Industria Alimenticia S.A. está formado por tratamiento preliminar y primario. El sistema está compuesto por rejillas para impedir el paso de sólidos gruesos, una laguna de oxidación y campo de riego con sembradillos de vetiver para absorción final del agua tratada. (ver figura 1)



**Figura 1. Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.**

**Fuente: el autor, agosto 2015, con base al sistema de tratamiento de INALSA S.A.**

### 3.1 Funcionamiento de cada fase de tratamiento

El agua residual de tipo especial recibe cada uno de los siguientes tratamientos.

#### 3.1.1 Tratamiento preliminar

La función del tratamiento preliminar en el sistema es impedir el paso de sólidos gruesos (cáscaras de plátano u otros) hacia la laguna de oxidación; esto se lleva a cabo mediante la disposición de rejillas alrededor y en el interior del área de proceso (ver figura 2). Estas rejillas tienen una separación de 2 centímetros entre cada una.



**Figura 2. Drenajes internos provistos con rejillas para tratamiento preliminar.**

**Fuente: el autor, 2015**

El sistema de tratamiento preliminar está provisto por una filtración por rejillas más pequeñas, de 0.5 cm de espacio entre cada una; para impedir el paso de partículas de menor tamaño (ver figura 3).



**Figura 3. Filtro de menor dimensión (0.5 cm) previo a laguna de oxidación.**

**Fuente: el autor 2015.**



**Figura 4. Diagrama de flujo del tratamiento preliminar**

**Fuente: el autor, 2015.**



### 3.1.2 Tratamiento primario

El tratamiento primario del sistema está compuesto por una laguna de oxidación y sedimentación, el agua residual que llega a la laguna tiene una permanencia de no más de 10 horas en ella, ya que el agua es bombeada constantemente durante el día al campo de riego de vetiver para evitar rebalses y malos olores provenientes de la descomposición de materia orgánica presente en el agua residual. (Ver figura 4). La laguna de oxidación es llenada durante un período de aproximadamente 15 horas entre los horarios de producción y limpieza de las instalaciones durante la noche; el agua que ingresa a la laguna es bombeada a través de una bomba y aspersores hacia el campo de riego (ver figura 6) durante aproximadamente nueve horas diarias.

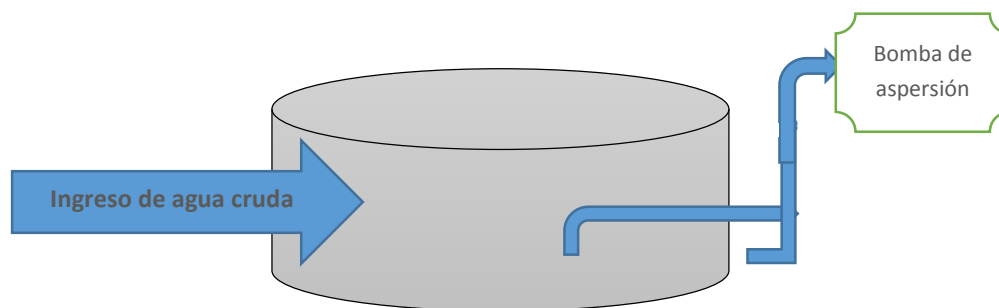


**Figura 4. Laguna de oxidación y garita de bomba de aspersión a campo de riego**  
**Fuente: autor 2015**

La laguna de oxidación tiene una profundidad de 1.06 metros y un área de 153.06 m<sup>2</sup>; por lo tanto, tiene capacidad para un volumen de agua de 162.24 m<sup>3</sup> de agua.

A la laguna de oxidación ingresan 3.004 litros/segundo de agua residual durante las operaciones de planta en un período de 15 horas de trabajo; desde las 6:00 hrs a las 16:00 hrs. Es importante mencionar que este dato de horas de labor es variante según la producción planificada para cada día.

La laguna de oxidación tiene una profundidad irregular ya que tiene una inclinación leve para la aspersión del agua por bombeo (ver figura 5)



**Figura 5. Esquema de tratamiento primario.**

**Fuente:** autor 2015, con base al sistema de tratamiento primario de INALSA S.A.

El principio de sedimentación de esta laguna de oxidación, es el de precipitación por gravedad, ya que no se le agrega ningún químico coagulante para acelerar la sedimentación de las partículas.

### **3.1.3 Campo de riego**

La disposición final del agua residual de tipo especial tratada por el sistema de INALSA S.A. es utilizada para riego de área verde, la cual está cubierta de vetiver para la absorción del agua en el suelo. (Ver figura 6)

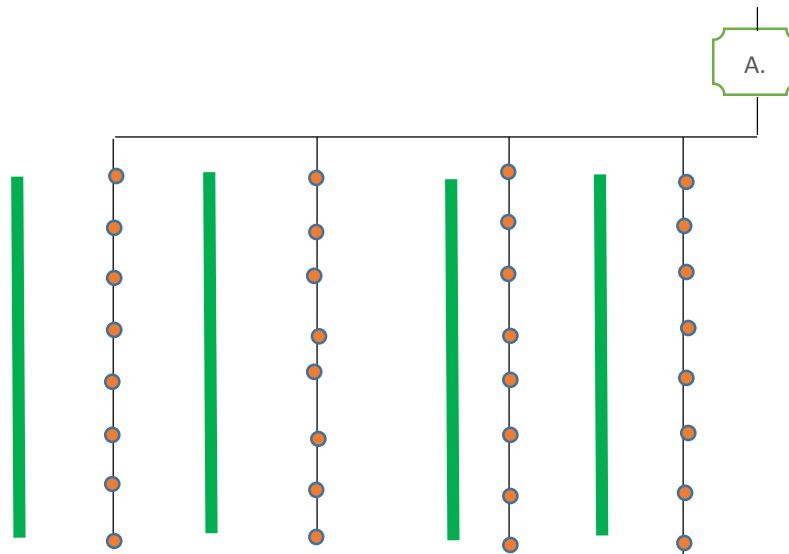


**Figura. Campo de riego y sembradillo de vetiver.**

**Fuente:** el autor, 2015.

El vetiver es utilizado para reducir la erosión y estabilizar el suelo del lugar.

El sistema de disposición final se detalla en la figura 7.



A= Bomba de aspersión

● = Dispersores

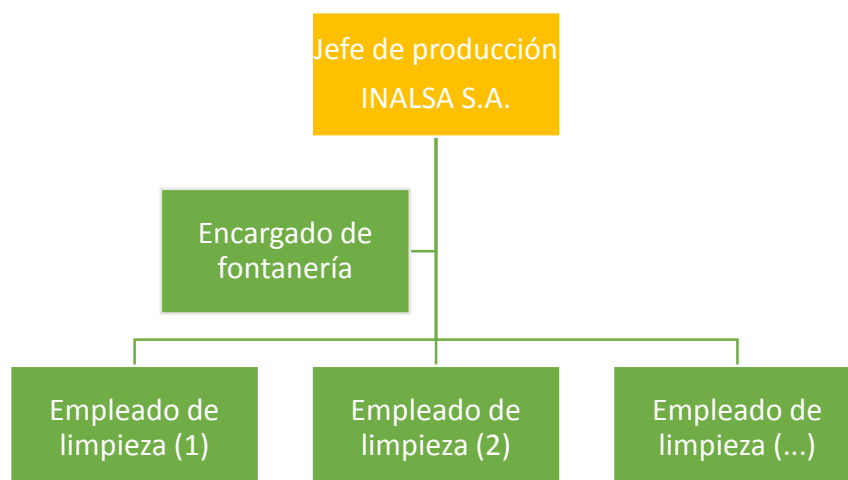
■ = sembradillo de vetiver

**Figura. Campo de riego y dispersores**

**Fuente: el autor 2015**

#### iv. Mantenimiento de la planta de tratamiento

##### 4.1 Estructura organizacional



**Figura. Organigrama de la planta de tratamiento de INALSA S.A.**

**Fuente:** autor, 2015.

##### 4.2 Responsables

Debido a que el departamento de producción es el encargado del manejo de los desechos sólidos y líquidos generados por el proceso de producción de plátano pre frito; es responsabilidad del jefe de producción o a quien éste delegue, velar por el cumplimiento del calendario de actividades para el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial.

Para la realización de las tareas en la planta es necesario contar con el encargado de fontanería, quien debe dirigir las labores a realizar; además serán necesarios cuatro trabajadores del área de limpieza, como personal mínimo, para llevar a cabo las actividades de limpieza de la planta. Sin embargo, el jefe de producción decidirá sobre el personal que asignado para estas labores.

### **4.3 Equipo requerido**

Para el mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual de tipo especial de Industria Alimenticia San Antonio S.A. será requerido el uso del siguiente equipo con el objetivo de salvaguardar la integridad física de los trabajadores.

### **4.4 Actividades de mantenimiento**

Para el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A. se deben realizar las siguientes actividades.

- **Diarias**

El equipo requerido es:

- Cepillos de cerdas duras
- Detergente
- Manguera
- Guantes de látex
- Escoba

#### **Actividad 1.** Limpieza de rejillas y drenajes internos.

Las rejillas y drenajes internos de la planta de producción deben limpiarse para evitar la obstrucción de sólidos, termos, o carretas.

La forma de limpiar las rejillas y filtros es removerlos de sus lugares correspondientes y cepillarlos a modo de eliminar los sólidos adheridos al metal; luego deben ser lavados con el detergente utilizado en las actividades de limpieza en la planta de producción.

#### **Actividad 2.** Limpieza de rejilla fina.

La rejilla fina o filtro, ubicado previo a la laguna de oxidación debe ser removido y limpiado para eliminar las partículas que son atrapadas para que el paso del agua sea rápido y fluido.

Esto se realiza de la misma forma que la limpieza de las rejillas anteriores.

**Actividad 3.** Colocar utensilios y rejillas en su lugar correspondiente

Luego de limpiar las rejillas, deben colocarse en los drenajes correspondientes. Así también, los insumos utilizados deberán ser guardados en el área de mantenimiento.

- **Semanales**

El equipo requerido es:

- Cepillos de cerdas duras
- Detergente
- Manguera
- Guantes de látex
- Escoba

Actividad 1. Limpieza de cajas de registro.

Las cajas de registro deben ser limpiadas para evitar la obstrucción del paso del agua hacia la laguna de oxidación. La persona encargada debe verificar que estas sean cerradas con sus respectivas tapaderas.

La forma de limpiar las cajas de registro es remover las tapaderas y cajilla de metal, y limpiar la rejilla de la misma manera que las rejillas y filtros; se debe remover los sólidos encontrados en las paredes de la caja de registro.

Con una manguera debe rociarse agua a presión para eliminar mohos que pudieran acumularse en las paredes, también deberán cepillarse para ayudar a la remoción de los mismos.

Al finalizar estos dos procesos, las rejillas deberán colocarse dentro de la caja de registro y cerrarla con su tapadera respectiva.

- **Mensuales**

El equipo requerido es:

- Guantes de látex gruesos
- Botas plásticas de color negro
- Lentes de protección
- 6 cubetas
- 2 carretas de mano
- 8 termos de color gris con su tapadera
- Palas

- Manguera
- Raspadores de metal grandes

### **Limpieza de la laguna de oxidación**

Para la limpieza de la laguna de oxidación se deberán retirar los sedimentos. Esta limpieza debe llevarse a cabo de la siguiente forma.

1. Vaciar la laguna, es decir, direccionar el agua por el desarenador impidiendo la entrada de agua en la piscina. Es necesario que esta actividad se realice durante un día sin proceso, por lo que se debe coordinar con producción.
2. Dejar secar los sedimentos dentro de la laguna durante un día para facilitar el recogimiento de los mismos.
3. Se debe raspar el suelo de la laguna con palas, retirando los sedimentos formados.
4. Se debe colocar el sedimento en cubetas y transportarlas hacia termos para almacenar durante la limpieza.
5. Realizar el paso 4 hasta que el suelo de la laguna esté libre de sedimento.
6. Es necesario raspar las paredes de la laguna removiendo material adherido a las mismas, colocar el material en cubetas y transportarlo hasta el termo de sedimentos.
7. Cuando la piscina esté libre de sedimento deberán retirarse las herramientas utilizadas.
8. Abrir el paso de agua de la laguna.
9. Lavar las herramientas utilizadas y guardarlas adecuadamente en la garita de la bomba de aspersión.

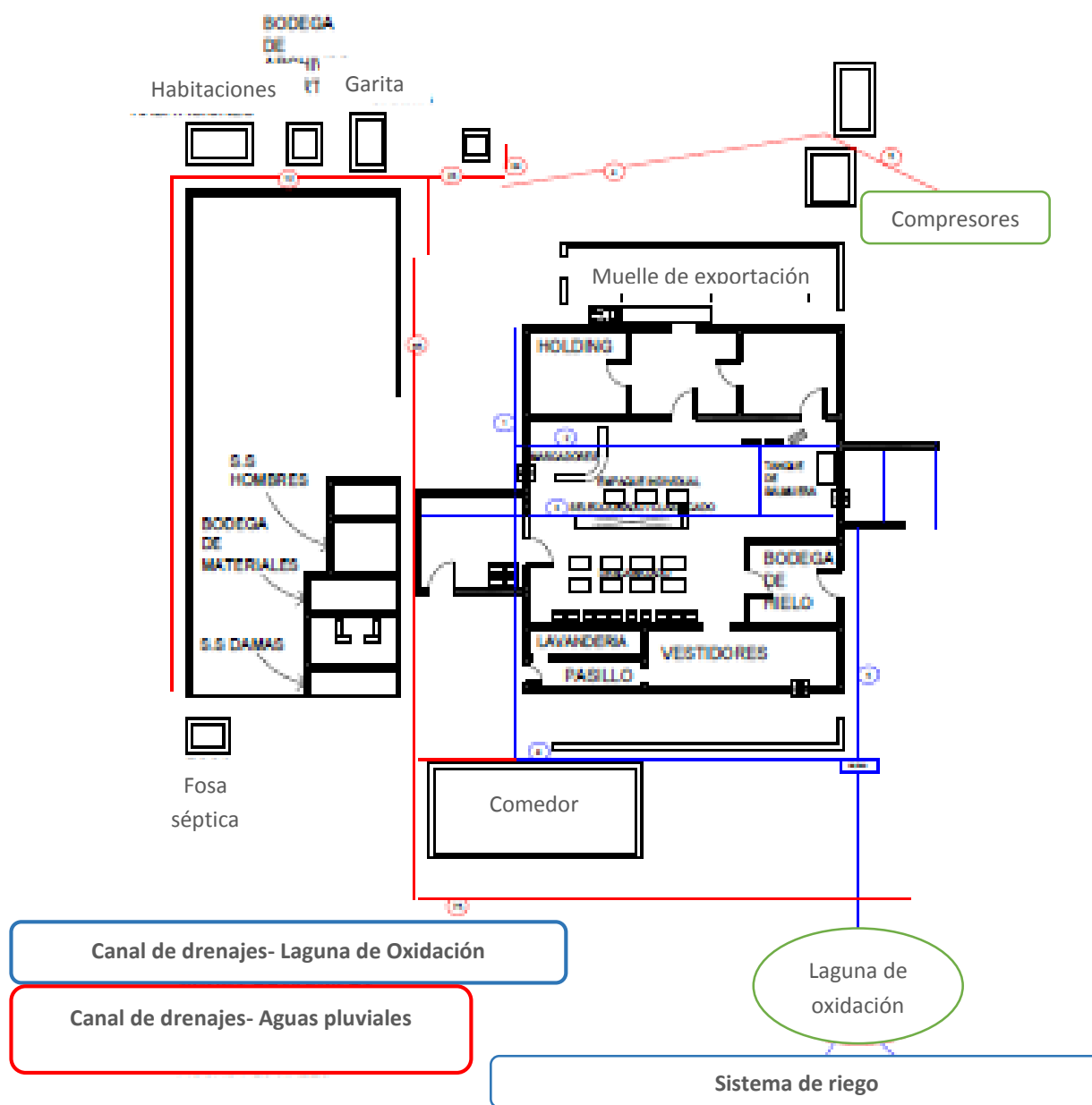
### **Limpieza de dispersores en campo de riego**

- a. Los dispersores deben limpiarse removiendo las boquillas y lavándolos a presión con una manguera, a modo de retirar los sedimentos acumulados.

Los micros deben ser colocados en los dispersores al finalizar su respectiva limpieza.



i. Anexos



Anexo. Plano de drenajes de agua residual y pluvial

**Fuente: Manual de Manejo de desechos sólidos, INALSA, 2014.**

## Anexo 2. Planta de tratamiento



**Figura. Bomba de aspersión**  
**Fuente: el autor, agosto 2015.**



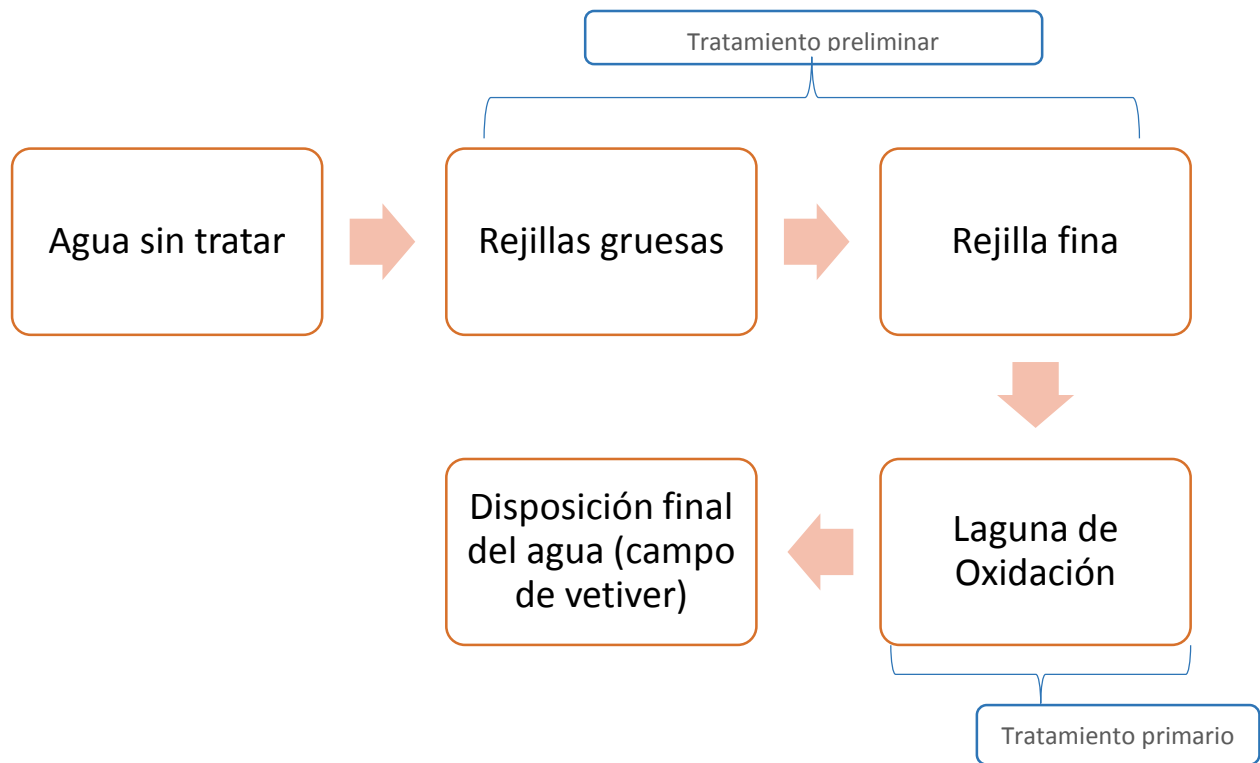
**Figura. Caja de registro y filtro previo a laguna de oxidación**  
**Fuente: el autor, agosto 2015.**

	<b>TABLA DE LIMPIEZA DE LAGUNA DE OXIDACION</b>	
--	---	--

INSTRUCCIONES DE TRABAJO	AÑO 2015											
	Ene ro	Febre ro	Mar zo	Ab ril	Ma yo	Jun io	Juli o	agos to	Septiem bre	Octu bre	Noviem bre	Diciem bre
Cerrar la llave de paso que lleva agua a la laguna												
Vaciar la laguna												
Dejar secar la laguna durante un día para facilitar la acumulación de sedimentos.												
Con palas, raspar el suelo y paredes de la laguna hasta que este limpio de sedimentos												
Colocar el sedimento en cubetas y depositarlos en termos												
Al finalizar la limpieza de la piscina retirar las herramientas utilizadas.												
Abrir el paso de agua hacia la laguna.												
Lavar las herramientas utilizadas y guardarlas en la garita de la bomba de aspersión adecuadamente.												
verificar que el area alrededor de la laguna quede limpia												
Disposición final de sedimentos de laguna de oxidación												
<b>Realizado por:</b>												
<b>Verificado por:</b>												

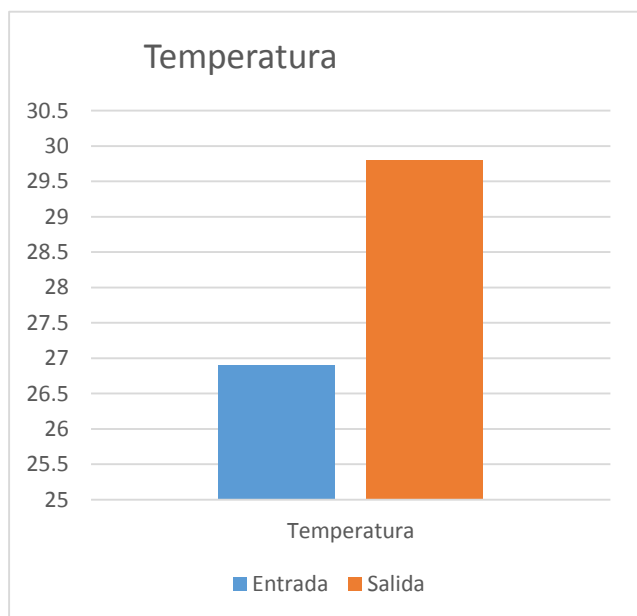
**Fuente: Autor, agosto 2015**

**Anexo 2. Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas residuales de tipo especial de INALSA S.A.**



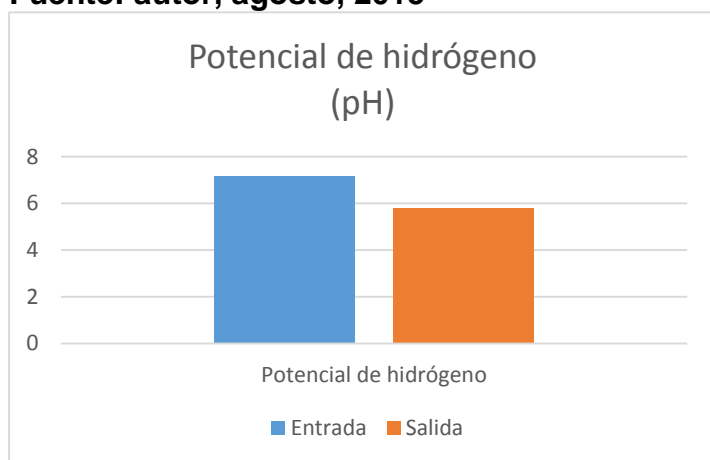
### Anexo 3. Gráficas de resultados de análisis de laboratorio para agua residuales de tipo especial de INALSA S.A.

Estas gráficas se realizaron utilizando los datos obtenidos de los resultados de los análisis de laboratorio, del agua residual de entrada y salida de la laguna de oxidación de INALSA S.A.



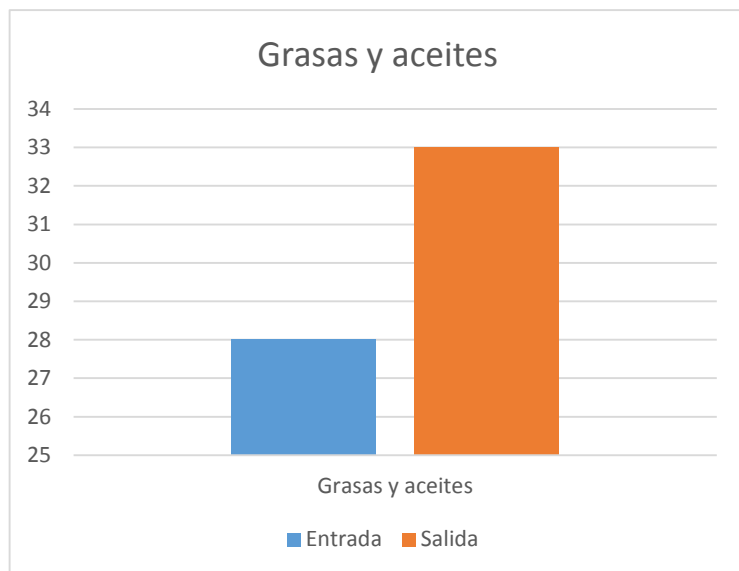
La temperatura del agua residual de entrada a la laguna de oxidación es de 26.9 °C mientras que la de salida en campo de riego es de 29.8 °C, esto se debe al tiempo durante el que el agua permanece en la laguna de oxidación, ya que recibe energía solar directamente; así como a la actividad microbiológica existente debido a la descomposición de materia orgánica.

**Figura 14. Temperatura**  
Fuente: autor, agosto, 2015



El potencial de hidrógeno que presenta el agua residual del proceso de plátano de INALSA S.A. se encuentra entre 5.8 y 7.16. Según el acuerdo gubernativo 236-2006 el rango de este parámetro es de 6-9 unidades de potencial de hidrógeno; estando el agua de entrada fuera del rango establecido y la de salida dentro del límite permitido.

**Figura 15. pH**  
Fuente: autor, agosto, 2015



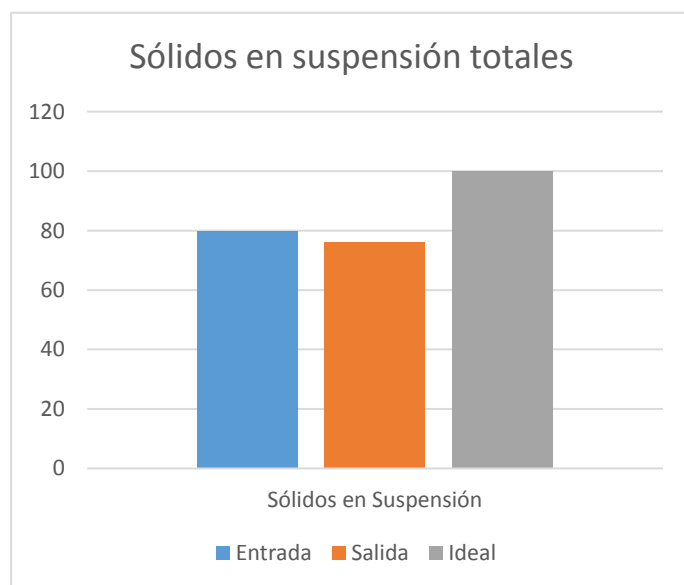
Las grasas y aceites del agua que entra a la laguna de oxidación es de 28 mg/l, mientras que el agua de salida al campo de riego es de 33mg/l; sin embargo, el acuerdo gubernativo 236-2006 ha establecido que debe ser de 10mg/l.

El aumento de la concentración de grasas en el agua de salida se debe a la acumulación de grasas dentro

de la laguna de oxidación, ya que al ingresar el agua a la laguna, ésta únicamente se mezcla con el aceite utilizado en el proceso;

**Figura 16. Grasas y aceites**

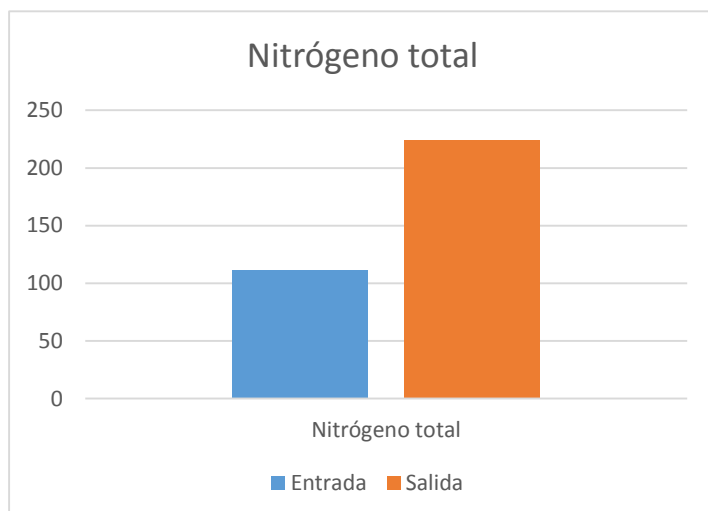
**Fuente:** autor, agosto 2015.



Los sólidos en suspensión contenidos en el agua de entrada a laguna de oxidación son de 80 mg/l y de salida al campo de riego es de 76 mg/l; el Acuerdo Gubernativo 236-2006 establece que el agua debe contener 100 mg/l; este indicador se encuentra dentro de lo establecido, sin embargo el índice de eficiencia en este parámetro es bajo.

**Figura 17. Sólidos en suspensión**

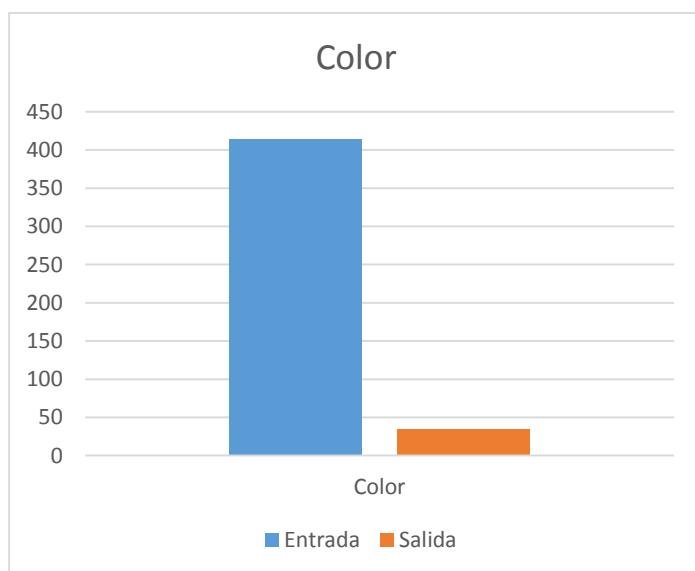
**Fuente:** autor, agosto 2015



**Figura 18. Nitrógeno total**

**Fuente:** autor, agosto 2015

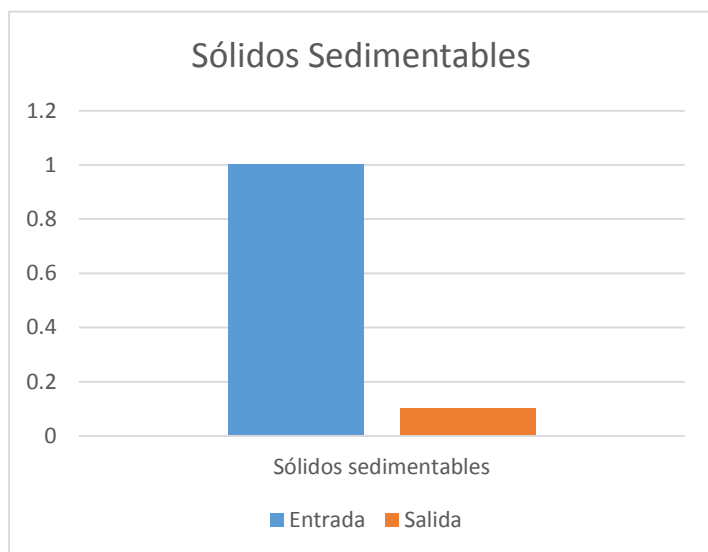
El nitrógeno total presente en el agua de entrada a la laguna de oxidación es de 112 mg/l y el de salida al campo de riego es de 224 mg/l; el rango establecido por el acuerdo gubernativo 236-2006 es de 20 mg/l. por lo que tanto el agua de entrada como la de salida se encuentra por encima del límite establecido.



**Figura 19. Color**

**Fuente:** autor, agosto 2015

Según los análisis realizados al agua residual del proceso de plátano pre frito de INALSA S.A., los valores para el parámetro de color presente es de: 414 u *PtCo* para el agua de entrada y de 35 u *PtCo* para el agua de salida al campo de riego, por lo que según el rango establecido en el acuerdo gubernativo 236-2006, estos se encuentran dentro de los límites máximos aceptables.

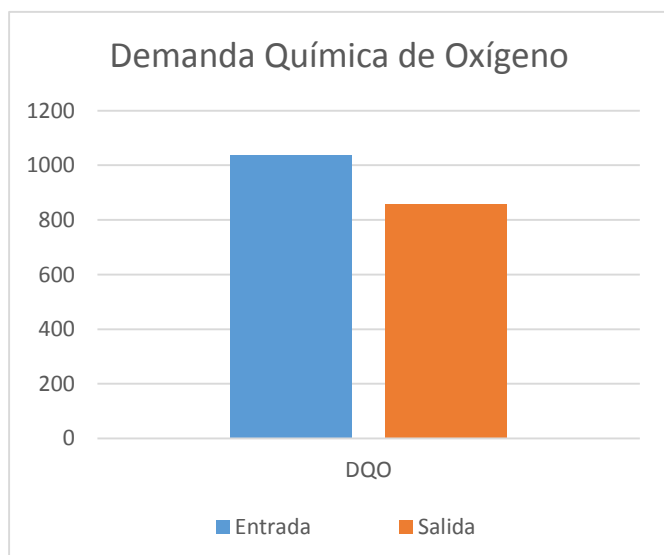


Los valores de sólidos sedimentables en el agua de entrada a laguna de oxidación son de 1 ml/l y el de salida al campo de riego < 0.1 ml/l.

Esto indica que los sólidos se sedimentan en la laguna de oxidación según su función.

**Figura 20. Sólidos sedimentables**

**Fuente: autor, agosto 2015**

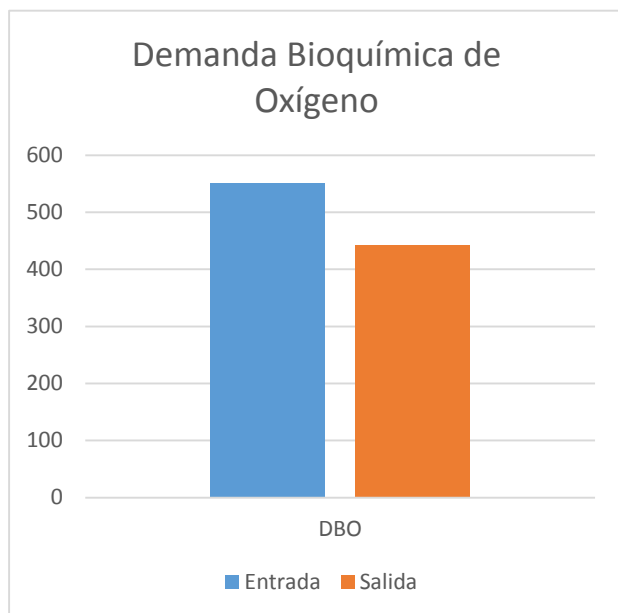


La Demanda Química de Oxígeno en el agua de entrada a la laguna de oxidación es de 1038mg/l mientras que la de salida al campo de riego es de 859 mg/l. Lo que indica que el grado de contaminación de entrada es mayor que el de salida, por lo que se puede determinar que la laguna cumple con su función de disminuir la cantidad de materia orgánica presente.

**Figura 21. DQO**

**Fuente: autor, agosto 2015**



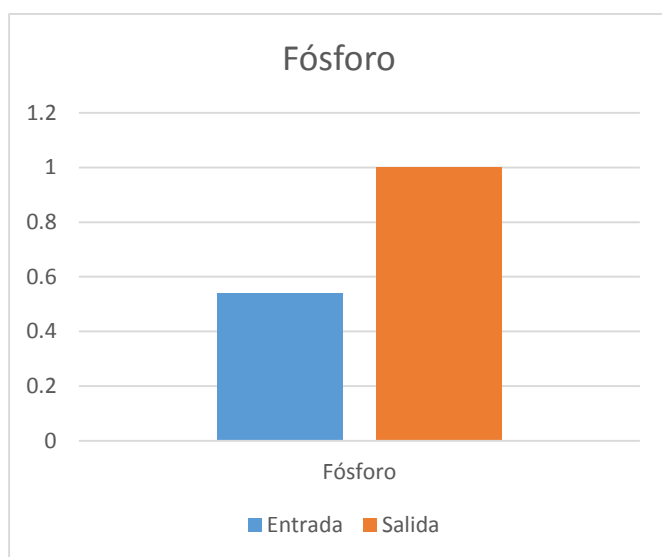


La Demanda Bioquímica de Oxígeno que presentó el agua residual de entrada a la laguna de oxidación es de 551 mg/l y la de salida de 443 mg/l.

El Acuerdo Gubernativo establece que cada entidad deberá reducir porcentualmente durante el año 2015, la cantidad de DBO en el agua, por lo que para el año 2020 deberá haber reducido un 50% del dato obtenido durante esta investigación.

**Figura 22. DBO**

**Fuente:** autor, agosto 2015



La cantidad de fosforo presente en el agua residual, según el acuerdo gubernativo 236-2006 es de 10mg/l; el valor determinado en la entrada a la laguna de oxidación es de 0.54 mg/l y el de salida a campo de riego es de 1 mg/l; por lo que se encuentra bajo el límite establecido.

**Figura 23. Fósforo**

**Fuente:** autor, agosto 2015

**Anexo 4. Acuerdo gubernativo 236-2006****MINISTERIO DE AMBIENTE Y RECURSOS  
NATURALES ACUERDO GUBERNATIVO NÚMERO  
236-2006**

**Guatemala, 15 de mayo  
de 2006**

**EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA****CONSIDERANDO:**

Que por imperativo constitucional el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico, para lo cual es necesario dictar normas que garanticen la utilización y el aprovechamiento racional de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, evitando su depredación.

**CONSIDERANDO:**

Que la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, tiene por objeto velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la calidad de vida de los habitantes del país.

**CONSIDERANDO:**

Que de conformidad con la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, se deben emitir las disposiciones y reglamentos correspondientes para ejercer el control, aprovechamiento y uso de las aguas; así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares y cualquier otra causa o fuente de contaminación hídrica.

**CONSIDERANDO:**

Que es necesario contar con un instrumento normativo moderno que ofrezca certeza jurídica para la inversión, permita la creación de empleo, propicie el mejoramiento

progresivo de la calidad de las aguas y contribuya a la sostenibilidad del recurso hídrico; coordinando para el efecto los esfuerzos de los órganos de la administración pública con las municipalidades y la sociedad civil.

**POR TANTO:**

En uso de las funciones que le confieren el artículo 183 literal e) de la Constitución Política de la República de Guatemala,

**ACUERDA:**

Emitir el siguiente

**REGLAMENTO DE LAS DESCARGAS Y REUSO DE AGUAS  
RESIDUALES Y DE LA DISPOSICIÓN DE LODO**

## **CAPÍTULO I**

### **DISPOSICIONES**

#### **GENERALES**

**Artículo 1. OBJETO.** El objeto del presente Reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- a) Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- b) Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- c) Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente Reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico.

**Artículo 2. APLICACIÓN.** El presente Reglamento debe aplicarse a:

- a) Los entes generadores de aguas residuales;
- b) Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- c) Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- d) Las personas que reusen parcial o totalmente aguas residuales; y
- e) Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

**Artículo 3. COMPETENCIA.** Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Las Municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho Ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente.

**Artículo 21. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA ENTES GENERADORES NUEVOS.** Los entes generadores nuevos deberán cumplir, desde el inicio de sus operaciones, con una meta de tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno, con un parámetro de calidad asociado igual o menor que doscientos miligramos por litro de demanda bioquímica de oxígeno. En el caso de que el parámetro de calidad asociado sea igual o menor a cien miligramos por litro en la demanda bioquímica de oxígeno, podrán realizar descargas mayores a tres mil kilogramos por día de demanda bioquímica de oxígeno.

Adicionalmente, deberán cumplir los límites máximos permisibles de los parámetros siguientes:

<b>Parámetros</b>	<b>Dimensional</b>	<b>Límites máximos</b>
Temperatura	Grados	TCR +/-
Grasas y aceites	Miliagramos	10
Materia flotante	Ausencia/pre	Ausent
Sólidos suspendidos	Miliagramos	100
Nitrógeno total	Miliagramos	20
Fósforo total	Miliagramos	10
Potencial de hidrógeno	Unidade	6 a
Coliformes fecales	Número más probable	< 4
Arsénico	Miliagramos	0.1
Cadmio	Miliagramos	0.1
Cianuro total	Miliagramos	1
Cobre	Miliagramos	3
Cromo hexavalente	Miliagramos	0.1
Mercurio	Miliagramos	0.0
Níquel	Miliagramos	2
Plomo	Miliagramos	0.4
Zinc	Miliagramos	10
Color	Unidades	500

TCR = temperatura del cuerpo receptor, en grados Celsius.

Cuando de conformidad con lo establecido en el artículo 8 de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente se requiera un Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental, el ente generador deberá cumplir con los valores de los límites máximos permisibles contenidos en el presente artículo.

El ente generador nuevo que, por razones técnicas debidamente justificadas, requiera de un período de estabilización productiva, definirá en el Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental la necesidad y etapas de ajuste consecutivas dentro del período de estabilización, el cual no excederá de seis meses, contados a partir del inicio de operaciones del ente generador. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, establecerá en la resolución aprobatoria del Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental correspondiente, el plazo o plazos consecutivos de las etapas que fueren necesarias para dicho período de estabilización.

## **CAPÍTULO VII PARÁMETROS DE AGUAS PARA REUSO**

**Artículo 34. AUTORIZACIÓN DE REUSO.** El presente Reglamento autoriza los siguientes tipos de reuso de aguas residuales, que cumplan con los límites máximos permisibles que a cada uso correspondan.

**TIPO I: REUSO PARA RIEGO AGRÍCOLA EN GENERAL:** uso de un efluente que debido a los nutrientes que posee se puede utilizar en el riego extensivo e intensivo, a manera de fertirriego, para recuperación y mejoramiento de suelos y como fertilizante en plantaciones de cultivos que, previamente a su consumo, requieren de un proceso industrial, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35. Se exceptúa de este reuso los cultivos considerados en el tipo II.

**TIPO II: REUSO PARA CULTIVOS COMESTIBLES:** con restricciones en el riego de áreas con cultivos comestibles que se consumen crudos o precocidos, como hortalizas y frutas. Para el caso de coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno, deberá cumplirse de conformidad con los límites máximos permisibles del artículo 35. Adicionalmente, para otros parámetros, deberán cumplir los límites máximos

permisibles presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento, a excepción de sólidos en suspensión, nitrógeno total y fósforo total.

**TIPO III: REUSO PARA ACUACULTURA:** uso de un efluente para la piscicultura y camaronicultura, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO IV: REUSO PARA PASTOS Y OTROS CULTIVOS:** con restricciones en el riego de áreas de cultivos no alimenticios para el ser humano como pastos, forrajes, fibras, semillas y otros, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

**TIPO V: REUSO RECREATIVO:** con restricciones en el aprovechamiento para fines recreativos en estanques artificiales donde el ser humano sólo puede tener contacto incidental, incluido el riego en áreas verdes, donde el público tenga contacto o no, de conformidad con los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 35.

Cualquier otro reuso no contemplado en el presente artículo deberá ser autorizado previamente por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

**Artículo 35. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA REUSO.**

El agua residual para reuso deberá cumplir con los límites máximos permisibles del siguiente cuadro:

<b>Tipo de reuso</b>	<b>Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro</b>	<b>Bacterias coliformes fecales, número más probable por cien</b>
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	$< 2 \times 10^2$
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	$< 1 \times 10^3$
Tipo V	200	$< 1 \times 10^3$

**Artículo 36. METALES PESADOS Y CIANUROS.** Los límites máximos permisibles de metales pesados y cianuros en las aguas para reuso son los presentados en el cuadro del artículo 21 del presente Reglamento.

**Artículo 37. RECIRCULACIÓN INTERNA DE AGUA.** Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reuso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento.

## **CAPÍTULO VIII**

### **PARÁMETROS PARA LODOS**

**Artículo 38. OBLIGATORIEDAD.** Todos los lodos producidos como consecuencia del tratamiento de aguas residuales que representen un riesgo para el ambiente y la salud y seguridad humana deben cumplir los límites máximos permisibles para su disposición final del presente Reglamento.

**Artículo 39. APLICACIÓN.** Los lodos que se regulan en el presente Reglamento son aquéllos generados por el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario o especial.

**Artículo 40. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS.** Se permite el tratamiento de los lodos por medio de la tecnología o los sistemas que el ente generador considere más adecuados a sus condiciones particulares, incluyendo la incineración a temperaturas mayores de mil quinientos grados Celsius.

**Artículo 41. DISPOSICIÓN FINAL.** Se permite efectuar la disposición final de lodos, por cualesquiera de las siguientes formas:

- a) Aplicación al suelo: acondicionador, abono o compost;
- b) Disposición en rellenos sanitarios;
- c) Confinamiento o aislamiento; y,
- d) Combinación de las antes mencionadas.



**Artículo 42. PARÁMETROS Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LODOS.** Para poder efectuar la disposición final de lodos de acuerdo a las formas descritas en el artículo 41 del presente Reglamento, los valores de sus propiedades fisicoquímicas no deben exceder los límites máximos permisibles descritos en el siguiente cuadro:

<b>Disposición Final</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Aplicación al suelo</b>	<b>Disposición en rellenos sanitarios</b>	<b>Confinamiento o aislamiento</b>
Arsénico	Miligramos por kilogramo de materia seca	50	100	> 100
Cadmio	Miligramos por kilogramo de materia seca	50	100	> 100
Cromo	Miligramos por kilogramo de materia seca	1500	3000	> 3000
Mercurio	Miligramos por kilogramo de materia seca	25	50	> 50
Plomo	Miligramos por kilogramo de materia seca	500	1000	> 1000

Los expresados en el cuadro anterior son los límites máximos permisibles para suelos con potencial de hidrógeno menor que siete unidades. En los suelos que posean potencial de hidrógeno mayor o igual que siete unidades se podrán disponer lodos hasta un cincuenta por ciento más de los valores presentados como límites máximos permisibles.

**Artículo 43. APLICACIÓN AL SUELO.** Los lodos que presenten metales pesados y que se ajusten a los límites máximos permisibles establecidos en el artículo 42, podrán disponerse como acondicionador del suelo, en cuyo caso se permitirá disponer hasta doscientos mil kilogramos por hectárea por año. En caso de que la aplicación sea como abono se permitirá disponer hasta cien mil kilogramos por hectárea por año.

**Artículo 44. DISPOSICIÓN HACIA RELLENOS SANITARIOS.** Se permitirá la disposición en un relleno sanitario de los lodos que no sean bioinfecciosos, que no requieran confinamiento y que cumplan con los límites máximos permisibles del artículo 42 del presente Reglamento.

Los rellenos sanitarios deberán contar con autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con aval del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

**Artículo 45. CONFINAMIENTO O AISLAMIENTO.** Los lodos que en su estructura posean compuestos que requieran confinamiento o aislamiento para evitar el impacto adverso del manto freático, las fuentes de suministro de agua superficiales y subterráneas, el suelo, subsuelo y el aire, deben disponerse en recintos que posean autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y el aval de los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social y de Energía y Minas.

**Artículo 46. COMERCIALIZACIÓN.** La comercialización de los lodos producidos es libre, siempre que los mismos se caractericen y se cumpla con los tratados y convenios internacionales que rijan en la materia ratificados por Guatemala y con lo siguiente:

- a) No debe permitirse el contacto humano directo con los lodos.
- b) Los lodos deben cumplir las especificaciones descritas en el artículo 42.
- c) El transporte de lodos debe realizarse en recipientes y vehículos acondicionados para evitar fugas y derrames.
- d) Los recintos para su almacenamiento transitorio deben ser autorizados para el efecto por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- e) Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final deben contar con la autorización del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, y si es aplicable del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 47. CONTRATACIÓN DE SERVICIOS.** Las empresas que presten los servicios de extracción, manejo o disposición final de lodos deberán cumplir lo

dispuesto en los artículos 41, 42, 43, 44, 45 y 46 del presente Reglamento. En el caso de la contratación de cualquiera de los servicios establecidos en este artículo, el ente generador queda exento de responsabilidad.

**Artículo 48. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales coordinará a través de sus dependencias la realización, a su costa, de muestreos aleatorios de los lotes de lodos que sean dispuestos, a efecto de verificar el cumplimiento de los parámetros del artículo 42 del presente Reglamento, cuando sea aplicable.

## **CAPÍTULO IX**

### **SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN**

**Artículo 49. DE LA FRECUENCIA DE TOMA DE MUESTRAS.** Para el seguimiento y evaluación de aguas residuales y de aguas para reuso, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico.

Para el seguimiento y evaluación de lodos, los entes generadores deberán tomar a su costa, como mínimo, dos muestras al año y efectuar los análisis que correspondan de conformidad con los parámetros contenidos en el estudio técnico. En el caso de las entidades contratadas para prestar los servicios de extracción, manejo y disposición final de lodos, éstas tendrán que realizar su toma de muestras de acuerdo al siguiente cuadro:

<b>Peso promedio de lodos</b>	<b>Periodicidad</b>
Entre 0 y 1500 kilogramos diarios	Trimestral
Entre 1501 y 3000 kilogramos diarios	Bimensual
Más de 3000 kilogramos diarios	Mensual

Los entes generadores deberán llevar un registro de los resultados de estos análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización, para su presentación al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales cuando le sea requerido por razones de seguimiento y evaluación.

El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra, se indica en el cuadro siguiente:

<b>Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e</b>		
<b>Horas por día que opera la actividad que</b>	<b>Número mínimo de muestras simples para</b>	<b>Intervalo mínimo en horas entre toma de</b>
Menor que 8	2	2
De 8 a	3	3
Mavor que 12	4	3

**Artículo 50. MEDICIÓN DE CAUDAL.** En la toma de cada muestra simple se hará una medición de caudal, para poder relacionarla con la concentración y así determinar la carga.

**Artículo 51. VIGILANCIA DE CUMPLIMIENTO.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales vigilará que se cumplan con todos los requisitos y procedimientos, establecidos en el presente Reglamento para los entes generadores y para las personas que descargan aguas residuales al alcantarillado público. Asimismo, coordinará a través de sus dependencias competentes, la realización de muestreos aleatorios en los cuerpos receptores y en los dispositivos para toma de muestras, para evaluar el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico y el cumplimiento del presente Reglamento.

**Artículo 52. CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** Los entes generadores deberán contar, en todos los puntos de descarga, con un dispositivo para facilitar la toma de muestras y la medición de caudales; dichos dispositivos deberán estar ubicados en lugares accesibles para la

inspección. En el caso de los entes generadores a los cuales se aplique el artículo 22 y 23 contarán con el dispositivo para la toma de muestras del afluente.

**Artículo 53. LUGARES EXCLUSIVOS PARA TOMA DE MUESTRAS.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y otras entidades de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, de acuerdo con las competencias asignadas por la Ley, a través de sus dependencias respectivas, coordinarán las acciones para la toma de muestras, exclusivamente en lugares donde se encuentran ubicados los dispositivos de descarga mencionados en el artículo 52.

**Artículo 54. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO.** Para los efectos de lo previsto en el presente Reglamento, los laboratorios estatales, universitarios, privados legalmente constituidos, o los laboratorios establecidos por los entes generadores, emplearán los métodos de análisis y muestreo establecidos por la Comisión Guatemalteca de Normas; o en su defecto por entidades como:

- a) Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Obras de Agua y Federación de Ambientes Acuáticos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales;
- b) Organizaciones técnicas reconocidas en el ámbito nacional e internacional,
- y c) Especificaciones del fabricante de los equipos que se utilicen.

Los informes de los resultados de los análisis de laboratorio, deberán ser firmados por profesional colegiado activo especializado en la materia.

## **CAPÍTULO X**

### **PROHIBICIONES Y**

### **SANCIONES**

**Artículo 55. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES.** Se prohíbe terminantemente la disposición de aguas residuales de tipo ordinario a flor de tierra, en canales abiertos y en alcantarillado pluvial.

**Artículo 56. PROHIBICIÓN DE DESCARGA DIRECTA.** Se prohíbe descargar directamente aguas residuales no tratadas al manto freático.

**Artículo 57. PROHIBICIÓN DE DILUIR.** Se prohíbe el uso de cualquier tipo de aguas ajenas al ente generador, con el propósito de diluir las aguas residuales. Ninguna meta contemplada en el presente Reglamento se puede alcanzar diluyendo.

**Artículo 58. PROHIBICIÓN DE REUSOS.** Se prohíbe el reuso de aguas residuales en los siguientes casos:

- a) En las zonas núcleo de las áreas protegidas siguientes: parque nacional, reserva biológica, biotopo protegido, monumento natural, área recreativa natural, manantial y refugio de vida silvestre;
- b) En las zonas núcleo de los sitios Ramsar, declarados en el marco de la Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas;
- c) En otras áreas donde se ponga en riesgo la biodiversidad y la salud y seguridad humana;
- d) Para el uso con fines recreacionales exceptuando el tipo V, indicado en el artículo 34.

**Artículo 59. PROHIBICIÓN DE DISPOSICIÓN DE LODOS.** Se prohíbe terminantemente efectuar la disposición final de lodos en alcantarillados o cuerpos de agua superficiales o subterráneos.

Además, se prohíbe la disposición de lodos como abono para cultivos comestibles que se pueden consumir crudos o precocidos, hortalizas y frutas, sin haber efectuado su estabilización y desinfección respectiva ni haber determinado la ausencia de metales pesados y que no excedan las dos mil unidades formadoras de colonia por kilogramo de coliformes fecales.

**Artículo 60. APLICACIÓN DE SANCIONES.** Las infracciones a este Reglamento darán lugar a la aplicación de cualesquiera de las sanciones establecidas en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, según el grado de incumplimiento de límites máximos permisibles observando:

- a) La mayor o menor gravedad del impacto ambiental, según el tipo de incumplimiento de que se trate,
- b) La trascendencia del perjuicio a la población, c) Las condiciones en que se produce, y
- d) La reincidencia del infractor.

La omisión del cumplimiento de alguno de los requerimientos establecidos en el artículo 6 del presente reglamento, dará lugar a que el Ministerio de Ambiente y de Recursos Naturales, de conformidad con lo estipulado en el artículo 29, 31 y 34 de la Ley de la Protección y Mejoramiento de Medio Ambiente, inicie el proceso administrativo correspondiente.

## **CAPÍTULO XII**

### **DISPOSICIONES TRANSITORIAS**

**Artículo 68. PLAZO PARA LA REALIZACIÓN DEL ESTUDIO TÉCNICO.** La persona individual o jurídica, pública o privada, responsable de generar o administrar aguas residuales de tipo especial, ordinario o mezcla de ambas, que vierten éstas o no a un cuerpo receptor o al alcantarillado público deberá realizar el estudio técnico estipulado en el presente Reglamento, en el plazo de un año, contado a partir de la vigencia del mismo.

**Artículo 69. EXPEDIENTES EN TRÁMITE.** Las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que vierten las aguas residuales a cuerpos receptores cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, se considerarán entes

generadores existentes para todos los efectos de su aplicación, de acuerdo a los artículos 17, 18, 19, 20 y 22.

Asimismo a las personas individuales o jurídicas, públicas o privadas que viertan sus descargas al alcantarillado público y cuya solicitud de aprobación de instrumentos de evaluación ambiental se encuentre en trámite antes de la vigencia del presente Reglamento, les será aplicable lo preceptuado en los artículos 26, 27, 28 y 29 del mismo.

**Artículo 70. LÍMITES APROBADOS EN ESTUDIOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.** Cuando en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental se hayan aprobado límites con valores menores que los contenidos en el presente Reglamento, dichos límites continuarán siendo aplicables a ese ente generador existente. En caso de que los valores de los límites aprobados en la resolución del Estudio de Evaluación Impacto Ambiental sean mayores a los establecidos en los artículos 17, 19, 20, 22, 26, 27 y 28, ese ente generador o persona que descarga aguas residuales al alcantarillado público, deberá cumplir con lo dispuesto en las etapas y las fechas máximas de cumplimiento que corresponda a los artículos mencionados.

**Artículo 71. MODELO DE REDUCCIÓN PROGRESIVA DE CARGAS DE DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO.** Los resultados que se obtengan en los Estudios Técnicos, servirán de base para elaborar, en un plazo no mayor de dieciocho meses a partir de la vigencia del presente Reglamento, el modelo de reducción progresiva de cargas correspondiente a la demanda química de oxígeno.

**Artículo 72. OTROS PARÁMETROS.** Otros parámetros que en el futuro se identifiquen como materia de este Reglamento serán agregados al presente cuerpo normativo al determinarse los mismos.

**Artículo 73. MANUALES.** El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, queda facultado para que, en el plazo de un año a partir de la vigencia del presente Reglamento, elabore el manual general que contenga, entre otros temas, los siguientes:

- a) Toma de muestras de aguas residuales, aguas para reuso y lodos.
- b) Cálculo de cargas.



c) Aplicación del modelo de reducción progresiva de cargas. d) Deducción especial de valores en parámetros.

**Artículo 74. DEROGATORIA.** Se deroga el Acuerdo Gubernativo número 66-2005, de fecha 17 de febrero 2005, que contiene el Reglamento de Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y cualquier otra disposición que se oponga al presente Reglamento.

**Artículo 75. VIGENCIA.** El presente Acuerdo Gubernativo empezará a regir al día siguiente después de su publicación en el Diario de Centro América.

**COMUNÍQUESE.**

**OSCAR BERGER PERDOMO**

**JUAN MARIO DARY FUENTES**

**JORGE RAÚL ARROYAVE**

**REYES**



Mazatenango, Suchitepéquez, 12 de octubre 2016

Msc. Celso González Morales  
Coordinador de la carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Ing. González

Muy respetuosamente me dirijo a usted para presentarle el Informe final de Investigación Inferencial titulado "Evaluación del sistema de tratamiento de agua residual de tipo especial de Industria Alimenticia San Antonio S.A.", realizado por la estudiante: Fredes Adelina Villatoro Dardón, quien se identifica con número de carné 201041687; dentro del programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local -EPSIGAL-.

Este documento se presenta para que de acuerdo con el artículo seis, inciso 6.4 del normativo de trabajo de graduación, pueda a través de sus buenos oficios darse el procedimiento para poder ser considerado Trabajo de Graduación, para obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente

Msc. Ing. Agr. Eysen Rodrigo Enríquez  
Supervisor/Asesor EPSIGAL



Mazatenango, Suchitepéquez, 12 de octubre 2016

Msc. Celso González Morales  
Encargado de la carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
Centro Universitario del Suroccidente

Respetable Ing. González

De la manera más atenta, me dirijo a usted, para informarle que, de acuerdo al artículo 9 del normativo de trabajo de graduación de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, he realizado la revisión y observaciones de la investigación titulada: "Evaluación del sistema de tratamiento de agua residual de tipo especial de la Industria Alimenticia San Antonio S.A.": presentada por la estudiante Fredes Adelina Villatoro Dardón, quien se identifica con número de carné 201041687.

Por lo tanto, en mi calidad de revisora le informo que después de realizar el proceso para lo cual fui asignada y después de verificar la incorporación de las observaciones por parte de la estudiante a la investigación; procedo a dar el visto bueno al documento para que continúe con el proceso de mérito.

Respetuosamente, se despide de usted.

Atentamente

Ing. Agr. Mirna Lucrecia Vela Armas

Revisora de trabajo de graduación  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local

CUNSUROC

Mirna Lucrecia Vela A.  
Ingeniera Agrónoma  
Col. No. 3,944





Mazatenango Suchitepéquez, 13 de octubre de 2016

MSc Mirna Nineth Hernández Palma  
Directora Interina  
Centro Universitario de Suroccidente

Respetable Directora:

De la manera más atenta, me dirijo a usted para referirme al informe final de trabajo de graduación titulado: **"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TIPO ESEPCIAL DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA SAN ANTONIO S.A., CHAMPERICO, RETALHULEU"**, de la estudiante **Fredes Adelina Villatoro Dardón**, de la carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental Local, quien se identifica con número de carné **201041687**.

Con base en el dictamen favorable emitido y suscrito por la Ingeniera Mirna Lucrecia Vela Armas, revisora del informe, el cual ya fue corregido de acuerdo a las recomendaciones realizadas.

Por lo tanto en mi calidad de Coordinador de la carrera, me permito **solicitarle el IMPRIMASE** respectivo para que la estudiante continúe con el proceso de mérito y pueda presentarlo en el Acto Público de Graduación.

Sin otro particular,

Atentamente

**"DID Y ENSEÑAD A TODOS"**

MSc Celso González Morales  
Coordinador de Carrera  
Ingeniería en Gestión Ambiental Local  
CUNSUROC





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

**CUNSUROC/USAC-I-67-2016**

DIRECCION DEL CENTR UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE, Mazatenango,  
Suchitepéquez, diecinueve de octubre de dos mil dieciséis\_\_\_\_\_

ENCONTRÁNDOSE AGREGADOS AL EXPEDIENTE LOS DICTÁMENES DEL ASESOR Y REVISOR, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE TIPO ESPECIAL DE LA INDUSTRIA ALIMENTICIA SAN ANTONIO S.A, CHAMPERICO, RETALHULEU", DE LA ESTUDIANTE: **FREDES ADELINA VILLATORO DARDÓN**, CARNÉ **201041687** DE LA CARRERA INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL.

**"ID Y ENSEÑAD A TODOS"**

  
MSC. **MIRNA NINETH HERNÁNDEZ PALACIOS**  
DIRECTORA



/gris